

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ELEKTRİKLİ TRAMVAY İMALATI İÇİN KAYNAK
ROBOTU TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NASUH ŞİMŞEK

DENİZLİ, NİSAN - 2023

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**ELEKTRİKLİ TRAMVAY İMALATI İÇİN KAYNAK
ROBOTU TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NASUH ŞİMŞEK

DENİZLİ, NİSAN - 2023

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

NASUH ŞİMŞEK

ÖZET

ELEKTRİKLİ TRAMVAY İMALATI İÇİN KAYNAK ROBOTU TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NASUH ŞİMŞEK
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ERSİN DEMİR)
DENİZLİ, NİSAN - 2023

Günümüzde kaynak robotu teknolojisi otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak robotu teknolojisi sayesinde imalat süreçleri seri bir şekilde yapılmakla birlikte imalat standardı açısından kaliteyi artırmıştır.

Ülkemizde imalatı yapılan elektrikli nostaljik tramvayların üretimleri manuel işçilik olarak imal edilmektedir. Tramvay pazarının artışı ile birlikte bu pazara cevap verebilmek için tramvayın dış panel saclarına punta kaynak yapılması için altı eklemliler Euler bilek yapısına sahip her biri dönel (RRRRRR) seri robot kolu tasarlanmıştır. Öncelikle robotun üç boyutlu bilgisayar destekli tasarımı yapılmış ve uç işlevciye hareketli kaynak teli bağlanmıştır. Hedef punta noktalarına ulaşmak için ileri ve ters kinematik denklemleri çıkarılmıştır. Bu denklemlerin Matlab ortamında matematiksel modeli elde edilmiştir. Robot eklemlerinin titreşimsiz ve sorunsuz çalışabilmesi için yörünge planlaması yapılarak robotun Matlab simulink programında simülasyonu yapılarak robot kolun kontrol edilebilmesi sağlanmıştır.

Robot uç işlevcinin istenilen yörüngede hareketini yapabilmesi için yörünge planlaması yapılarak hareket analizi yapılmıştır. Yörünge planlaması ile birlikte her bir eklemin konum, hız ve ivme parametreleri elde edilmiştir. Sonuç olarak robotun otomasyon kontrol parametre girdileri için analiz sonuçlarından elde edilen konum, hız ve ivme parametreleri kullanılarak çalışması sağlanabilir.

ANAHTAR KELİMELELER: Endüstriyel Robot, Kaynak Robotu, İleri Kinematik, Ters Kinematik, Yörünge Planlaması, Matlab Simulink

ABSTRACT

WELDING ROBOT DESIGN FOR ELECTRIC TRAM MANUFACTURING MSC THESIS

NASUH ŞİMŞEK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHATRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ERSIN DEMİR)

DENİZLİ, DECEMBER 2022

Today, welding robot technology is widely used in the automotive industry. Thanks to this welding robot technology, the manufacturing processes are carried out in a serial manner, and the quality has increased in terms of the manufacturing standard.

The production of electric nostalgic trams manufactured in our country is produced as manual labor. With the increase in the tram market, in order to respond to this market, a rotary (RRRRRR) serial robot arm, each of which has a six-jointed Euler wrist structure, has been designed for spot welding on the outer panel sheets of the tram. First of all, a three-dimensional computer aided design of the robot was made and a moving welding wire was connected to the end functional. Forward and inverse kinematics equations are derived to reach the target tailstock points. The mathematical model of these equations was obtained in Matlab environment. In order for the robot joints to work smoothly and without vibration, trajectory planning was made and the robot was simulated in the Matlab simulink program, so that the robot arm could be controlled.

In order for the robot end functionalist to move in the desired orbit, trajectory planning was made and motion analysis was performed. With the trajectory planning, the position, velocity and acceleration parameters of each joint were obtained. As a result, the robot can be operated by using the position, velocity and acceleration parameters obtained from the analysis results for the automation control parameter inputs.

KEYWORDS: Industrial Robot, Welding Robot, Forward Kinematics, Inverse Kinematics, Trajectory Planning, Matlab Simulink

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ROBOT KOLLARI.....	10
2.1. Robot Kollarının Sınıflandırılması	10
2.1.1. Hareket Eksenlerine ve Çalışma Alanına Göre Robot Kolları.....	10
2.1.2. Koordinat Düzenine Göre Robot Kolları	11
2.1.3. Tahrik Sistemine Göre Robot Kolları	13
2.1.4. Kesinlik Derecesine Göre Robot Kolları.....	14
2.1.5. Kontrol Sistemlerine Göre Robot Kolları	15
2.2. Robotik Kaynak Sistemleri.....	15
2.3. Robot Kolları ile Uygulanabilen Kaynak Yöntemleri.....	16
2.3.1. Punta Kaynak	16
2.3.2. Gazaltı Kaynak	18
2.4. Robot Kollarının Kinematığı	19
2.4.1. Konum	20
2.4.2. Yönelim	21
2.4.3. Genel Dönüşüm	22
2.4.4. İleri Kinematik	23
2.4.4.1. Koordinat Sisteminin Yerleştirilmesi	23
2.4.4.2. Denavit-Hartenberg Yöntemi	24
2.4.5. Ters Kinematik	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Robot Gövde Tasarımı	26
3.2. İleri Kinematik	31
3.3. Ters Kinematik	35
3.3.1. Ters Kinematik Geometrik Çözüm	35
3.3.2. Ters Kinematik Analitik Çözüm	39
3.4. Yörünge Planlaması	45
3.5. Matlab ile Matematiksel Modelleme.....	49
3.6. Matlab ile Simülasyon Modelleme.....	49
4 BULGULAR	51
4.1. Punta Konum Grafikleri	51
4.2. Robot Kolun Simülasyonu	52
4.3. Yörünge Hareket Analizi.....	53
4.3.1. Konum Analizi	53
4.3.2. Hız Analizi	58
4.3.3. İvme Analizi	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
6. KAYNAKLAR.....	66

7. EKLER	71
EK A Birinci Bölge Punta Kaynak Noktaları ve Eklem Açıları	72
EK B Ters Kinematik–Yörünge Planlama Matlab Modelleme.....	76
EK C İleri Kinematik Matlab Modelleme	95
8. ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Dönel robot kolun yapısı ve çalışma alanı.....	11
Şekil 2.2: Küresel robotun yapısı ve çalışma alanı	12
Şekil 2.3: Kartezyen robotun yapısı ve çalışma alanı	13
Şekil 2.4: Silindirik robotun yapısı ve çalışma alanı.....	13
Şekil 2.5: Punta kaynağı uygulaması	17
Şekil 2.6: Gaz altı kaynağı uygulaması.....	18
Şekil 2.7: Öteleme hareketi (solda) ve dönme hareketi (sağda).....	20
Şekil 2.8: Robot kol uç işlevcinin A ve B koordinat eksenlerine göre tanımı ..	21
Şekil 2.9: Merkezleri çakışık iki koordinat sistemi.....	22
Şekil 3.1: Tramvayın sac montajı	27
Şekil 3.2: Tramvayın örnek bir yan sac panelleri	27
Şekil 3.3: Robot kolun yapısı	28
Şekil 3.4: Robot kolun doğrusal kızak sistemine montajı.....	29
Şekil 3.5: Robot kolun birinci referans noktasındaki konumu.....	30
Şekil 3.6: Robot kolun ikinci referans noktasındaki konumu	30
Şekil 3.7: Robot koluna eksen takımlarının yerleştirilmesi	31
Şekil 3.8: Robot koluna eksen takımlarının yerleştirilmesi (yan görünüm)	32
Şekil 3.9: Geometrik yapıdaki robot kolun üst görünümü.....	36
Şekil 3.10: Geometrik yapıdaki robot kolun yan görünümü.....	36
Şekil 3.11: Euler dönme eksenleri	42
Şekil 3.12: Euler yönelim eksenleri	43
Şekil 3.13: Kaynak punta yolu	46
Şekil 3.14: Robot kol simülasyon modeli	50
Şekil 4.1: Birinci bölge punta noktaları	51
Şekil 4.2: Robot kolun P6 noktasındaki simülasyon modeli	52
Şekil 4.3: Robot kolun P6 noktasındaki konum parametreleri	53
Şekil 4.4: θ_1 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	54
Şekil 4.5: θ_2 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	54
Şekil 4.6: θ_3 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	55
Şekil 4.7: θ_4 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	56
Şekil 4.8: θ_5 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	56
Şekil 4.9: θ_6 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	57
Şekil 4.10: θ_1 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	58
Şekil 4.11: θ_2 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	58
Şekil 4.12: θ_3 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	59
Şekil 4.13: θ_4 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	59
Şekil 4.14: θ_5 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	60
Şekil 4.15: θ_6 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.....	60
Şekil 4.16: θ_1 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	61
Şekil 4.17: θ_2 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	62
Şekil 4.18: θ_3 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	62
Şekil 4.19: θ_4 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	63
Şekil 4.20: θ_5 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	63
Şekil 4.21: θ_6 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi	64

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Robot kolun D-H parametre tablosu.....	33
Tablo 3.2: Şekil 3.13 punta noktaları ve eklem açıları	46
Tablo A.1: Birinci bölge punta kaynak noktaları ve eklem açıları	72

SEMBOL LİSTESİ

RRR	:	Üç eklemlilik de dönel olan robot kolu
PPP	:	Üç eklemlilik de prizmatik olan robot kolu
RPP	:	İlk eklemlilik prizmatik diğer eklemlilik dönel olan robot kolu
CNC	:	Sayısal kontrollü bilgisayar
DC	:	Doğru akım
AC	:	Alternatif akım
MIG	:	Metal İnerit Gaz
MAG	:	Metal Aktif Gaz
TIG	:	Tungsten İnerit Gaz
A^P	:	A koordinat sistemindeki P noktasının vektörü
A^P_x	:	A koordinat sistemindeki P noktasının X eksenine olan uzaklığı
A^P_y	:	A koordinat sistemindeki P noktasının Y eksenine olan uzaklığı
A^P_z	:	A koordinat sistemindeki P noktasının Z eksenine olan uzaklığı
A^P_{Borjin}	:	B koordinatının A koordinatına göre 3x1 konum matrisi
A^R_B	:	B koordinatının A koordinatına göre 3x3 yönelim matrisi
A^T_B	:	B koordinatının A koordinatına göre 4x4 transformasyon matrisi
p_x	:	Uç işlevcinin x eksenine göre uzaklığı
p_y	:	Uç işlevcinin y eksenine göre uzaklığı
p_z	:	Uç işlevcinin z eksenine göre uzaklığı
D-H	:	Denavit-Hartenberg
θ_1	:	1. uzvun açısı
θ_2	:	2. uzvun açısı
θ_3	:	3. uzvun açısı
θ_4	:	4. uzvun açısı
θ_5	:	5. uzvun açısı
θ_6	:	6. uzvun açısı

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, tecrübe ve bilgilerini aktaran, desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ersin DEMİR' e ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen en büyük destekçim aileme sonsuz teşekkür ederim.

1.GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte gelişen makine teknolojisi ile insanlar üretimde kaliteyi artırmak ve bununla birlikte üretimi de standartlaştırmak, üretim hızını artırarak zaman tasarrufu sağlamak, insan gücünü azaltarak olası iş kazalarının önüne geçmek için robotların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler firmalar arası rekabet oluşturduğu için endüstriyel robotların kullanım alanları hızla artmıştır.

Son günlerde yapay zeka teknolojisinin gelişmesi ile bu teknoloji robot teknolojisine adapte edilmeye başlanmıştır. Robotlar çevre şartlarına göre ve oluşabilecek hataları öngörüp kendi kendine karar verebilme yeteneği verilerek otonom çalışması sağlanmıştır (Okutkan 2006).

Endüstriyel robotlar, daha çok insan kolundan ilham alınarak tasarlanan bir robot çeşididir. Bu kol çeşidi robotun çalışacağı alana göre özel olarak tasarlanmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi endüstride geniş bir kullanımı vardır. Özellikle otomotiv sektöründe kullanımı çok yaygındır. Çalışma prensibi insan koluna benzediği için insanın yapabileceği işler olan kaynak yapma, taşıma, kesme, boyama, yapıştırma ve paketleme gibi hayatın her alanında kullanılmaktadır.

Endüstriyel robotlar insanlara göre daha verimli ve hızlı çalıştıkları için üretim süreleri kısalmıştır. Böylece zaman tasarrufu sağlayarak maliyetin azaltılmasını sağlamıştır. Tekrarlanabilirlik özelliği ve pozisyon kontrolü insana göre daha hassas olduğu için üretilen ürün kalitesi artar ve üretimde belli bir standart yakalanmış olur. Yakalanan bu standart ile kalite kontrol süreleri azalarak zaman tasarrufu sağlanır. Endüstriyel robotlar maden, su altı, dökümhane, boyahane, uzay ve radyasyonlu alanlar gibi tehlikeli yerlerde insanların yerini alarak olası iş kazalarının önüne geçmesi ile iş güvenliği sağlanmış olur.

Endüstriyel robotların endüstride kullanımı ile insan işgücünü azalttığı düşünülmektedir. İlk kullanım zamanlarında işgücünün düşmesine sebep olmuştur. Fakat son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle fabrikalarda robot kullanım sayısının artması ve buna bağlı olarak bu robotların onarımı, bakımı ve geliştirilmesi, yeni

fabrikaların artması gibi nedenler aksine işgücünün azalmasına engel olmuştur (Ersöz 2007).

Robot teknolojisi gelişmeye devam ederken kendini bu gelişim yeteneklerine bağlı olarak farklı sektörlerde yer edinmeye çalışmaktadır. Robotlar; endüstriden sağlığa, ulaşımdan operasyonele, eğitim ve araştırmadan eğlenceye, sibernetikten tarım ve hayvancılığa kadar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır (Han 2011).

Operasyonel robotlar, insanların çalışmasına elverişli olmayan yüksek radyasyon alanlarında, sualtı, göçük riski olan maden ocaklarında, mayınlı arazilerde, uzay araştırmalarında, insan için tehlikeli olabilecek işlemlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Operasyonel robotlar genelde uzaktan kontrol edilebilir şekilde özel amaç üzerine tasarlanırlar ve yüksek teknoloji özelliğinde olması gerekmektedir.

Sağlık alanındaki robotlar, genellikle cerrahi ve protez amaçlı kullanılan robot çeşitleridir. Gelişen yapay zeka teknolojisi ve konum hassasiyetleri ile birlikte cerrahi operasyonlarda tıbbi personele yardımcı olmuş ve aynı zamanda uzaktan cerrahi operasyonlara imkan vermiştir. Hareket zorluğu çeken felçli hastaların hareketlerini kolaylaştırmada ve uzuvları eksik olan insanların biyolojik uzuv yapılarak günlük yaşamlarını sürdürmede kolaylık sağlamaktadır.

Eğitim ve araştırma robotları, fen bilimleri, matematik, yabancı dil gibi derslerin öğretiminde, otizmli ve zihinsel engelli kişilerin eğitiminde kullanılmaktadır. Dinamik bir görsel sağladığı için etkili bir iletişim sağlamaktadır.

Eğlence robotları, insanları eğlendirmek amacıyla yapılmış, hobi ve oyuncak olarak kullanılan robotlardır. Eğlence robotları kültür ve eğlencenin pek çok alanında kullanılmaktadır.

Sibernetik, makinelerin canlılara benzetimi yapılarak geri besleme ile kendi kendine kontrol edebilme yeteneği kazandıran bir bilim dalıdır. Sibernetik bilimin amacı robot ile insan arasındaki farkı azaltmaktır. Yapay zekanın en çok kullanıldığı alandır.

Sibernetik bilimin öncülerinden sayılan El-Cezeri bu alandaki çalışmalarını “mekanik hareketlerden mühendislikte faydalanmayı içeren kitap” adındaki kitabında

anlatmıştır. El-Cezeri çalışmalarında elektronik ayar sistemini ve denge durumunu uygulamıştır. (Çırak ve Yörük 2015).

Tarım ve hayvancılık robotları, tohum ekimi, zirai ilaçlama, hasat işlemi, sulama, sağım sistemi, besleme sistemi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Ulaşım robotlarına, sürücüsüz otomobiller, fabrika içi lojistik taşıma, dinamik denge araçlarına örnek olarak verilebilir.

Kazeroni, eklemlerdeki motorların yerçekimi kuvvetlerini ortadan kaldırmak için statik dengeli, dört uzuvlu bir bağlantı kullanarak doğrudan tahrik edilen bir robot mekanizması tasarlamıştır. Yerçekimi kuvvetini kaldırmak için robot kollarını birbirine mekanik olarak desteklemiştir. Böylece eklemlerde yüksek tork gerektirmeyen düşük torklu motorlar kullanmıştır (Kazeroni 1988).

Bozdemir ve Adıgüzel, bu çalışmasında insan kol hareketi ve puma tipi robotun hareketlerini kıyaslamıştır. Bu robot koluna yeni bir eklem ekleyip insan omuzun yaptığı hareketlere benzetmeye çalışmıştır (Bozdemir ve Adıgüzel 1999).

Marcelo ve diğ., gemi inşa endüstrisinde yeri oldukça önemli olan kaynak kalitesi için zorlu ve standart olmayan parçaları kaynak yapmak amacıyla Gemi Kaynak Robotu Sistemi (SWERS) geliştirilmiştir. SWERS, kullanıcının robotu kaynak yollarını kolay ve hızlı bir şekilde öğretmesine olanak tanıyan özel bir öğretim prosedürü içerir. Robotu farklı modlarda çalıştırmak için özel tasarlanmış arayüz ile sistemin çalışması kolaylaştırılmıştır. Oluşturulan geniş veri tabanından grafik kullanıcı arayüzü ile istenilen kaynak parametreleri optimize edilebilir (Marcelo ve diğ. 1999).

Wurll ve Henrich, çalışmasında robotların aynı çalışma ortamında birbirlerinin çalışma alanını tehlikeye sokmaması için yörünge planlaması yapmıştır. Netice olarak takip edilen yol kısaltılarak kurulum maliyeti azaltılmıştır (Wurll ve Henrich 2001).

Tonbul ve Sarıtaş, beş eksenli olarak hareket edebilen bir Edubot robotunun geri kinematik hesaplamalarını yaparak uç işlevcinin gitmesi gereken koordinatlara giderken robot kol açılarını hesaplamıştır. Bu hareketini kararlı bir şekilde yapabilmesi için beşinci dereceden polinom denklemleri kullanarak yörünge planlamasını da

yapmıştır. Hesaplamaları Matlab ortamında yaparak gerekli olan konum, hız ve ivme grafiklerini çizdirmiştir. Robot hareketlerini en az hata ile gerçekleştirebilmesi için yörünge hesaplamalarına dinamik hesapların dahil edilmesi gerektiğini bildirmiştir (Tonbul ve Sarıtaş 2003).

Sönmez ve diğ., üç serbestlik derecesine sahip endüstriyel bir robotun ileri ve geri kinematik denklemlerini çıkarmışlar ve yapay sinir ağı (YSA) yöntemini kullanarak robot kolunun eklem açılarını zamana bağlı olarak grafiğini çıkarmışlardır. Geri kinematik probleminde robotun uç işlevcisinin gideceği yerin konum bilgisi girdi olarak verilmiştir. Robotun ileri ve geri kinematik hesaplamaları Matlab 6.0 programı ile gerçekleştirilmiştir (Sönmez ve diğ. 2005).

Eğilmez, bilgisayar ile kontrolü gerçekleştiren kartezyen koordinatlı kaynak robotunun tasarımını ve imalatı yapmıştır. Robotun gövdesi alüminyum profillerinden imal edilmiştir. Kaynak torcu konumunun ayarlanabilmesi için torc tutma parçası yapılmıştır. Torcun x ve y eksenlerinde hareketi için iki adet step motor kullanılmıştır. Robotun bilgisayar ile kontrol edilebilmesi için Visual Basic programında arayüz oluşturulmuştur. Robot bilgisayar ile paralel port üzerinden haberleşerek istenilen parametrelerde kaynak yapılması sağlanmıştır (Eğilmez 2005).

Bayrak, beş eksenli robot manipülatörü tasarlayıp kinematik denklemlerini çıkarmıştır. Eklemlerin sarsıntısız çalışması için yörünge planlaması yapmıştır. Sisteme kamera ilave edip algoritma programı hazırlayarak robot manipülatörün önüne herhangi bir engel çıktığında yörüngesini değiştirebilmesi sağlanmıştır. Kameranın engeli algılama süresinin yaklaşık 1,5 dakika olduğu hesaplanmış, bu sürenin farklı algoritmalar kullanılarak kısaltılması gerektiğini söylemiştir (Bayrak 2007).

Boztay, gereğinden fazla serbestiye sahip dört uzuvlu seri bir robotun tasarımını yapmış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Robot kollarının her birinin hareketi servo motor ile tahrik edilmiştir. Servo motorun hareketini kollara iletebilmesi için özel olarak tasarlanmış triger dişli ve triger kayışlar kullanılmıştır. Öncelikle robotun CAD tasarımı yapılmış, hataların görülebilmesi ve robotun çalışma sisteminin anlaşılabilmesi için bilgisayarda animasyonu oluşturulmuştur. Daha sonra imalatı yapıp çalıştırılarak ark kaynağı uygulaması yapılmıştır. Robotun uç işlevcisi

bilgisayar faresinden, joystick'den veya dxf çizimlerinden aldığı koordinatlarla kontrol edilebilmektedir. İmalatı yapılan robotun birçok değişik algoritmanın denenebilmesi için uygulanabilirliğini söylemiştir (Boztay 2007).

Akpınar, kartezyen koordinatlara sahip bir robot tasarlayıp, konveyör bant üzerinde ilerleyen çeşitli geometrik şekle sahip parçaları ayırmada kullanmıştır. Ayırma işlemini görüntü işleme ile algılayıp yaptırarak hata oranının yüzde üçün altında olduğunu görmüştür. Bu hata oranının düşürmek için yapay sinir ağı algoritması kullanılarak daha da düşeceğini belirtmektedir (Akpınar 2008).

Kizir ve diğ., çalışmasında tek eklem yapıya sahip bir robot kolu tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Robot kolun kontrolü için üç aşamada bulanık mantık kontrolü oluşturmuştur. İlk olarak pozisyon kontrolü için, ikinci olarak uç manipülatörün salınımı ve üçüncü olarak birinci ve ikinci bulanık mantık çıkışlarını giriş olarak kullanarak kontrol girişi sağlamıştır. Sonuç olarak konumun 0.72° verilen çözünürlük değerinin içinde kaldığını fakat yörünge planı için hatalar ve faz kaymasının olduğu saptanmıştır. Bu hataların düzeltilmesi için bulanık mantık parametrelerinin kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Kizir ve diğ. 2009).

Kayalıoğlu, çalışmasında, sabit konumda çalışan kaynak robotlarının kaynak uygulamalarında getirdiği kısıtlamaların önüne geçmek için hareketli bir kaynak robotunun imalatını ve tasarımını yapmıştır. Böylece robotun hareketli olmasıyla birlikte küçük ve dar kaynak alanlarında kaynağın daha verimli hale getirilmesi, standartlaştırılması, kolaylaştırılması ve maliyeti düşürülmesi amaçlanmaktadır. Yazılan tezden elde edilecek tecrübe ve bilgi ile aynı kaynak işlemleri yapan firmalara destek sağlanıp zamandan tasarruf, maliyeti düşürme ve işi standartlaştırma sağlanması hedeflenmiştir (Kayalıoğlu 2009).

Kunt ve diğ., hassas montaj uygulamalarında kullanılacak olan prototip delta robot tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Robotun 40 mm^3 hacmindeki çalışma uzayında çalışabilmesi için kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Kinematik analizinden elde edilen değişkenlerden yararlanılarak tasarım yapıp delta robot üretilmiştir. Yapılan çalışmalarda beklenen sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Kunt ve diğ. 2010).

Çay, gaz altı kaynak yapmak için üç eksenli kartezyen tipi robot tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Konum kontrolü için kinematik denklemlerini hesaplamıştır. Eklemlere bağlanacak olan motorların tork analizi için dinamik hesapları yapmıştır. PID denetleyicisi yaparak sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır (Çay 2010).

Aytepe, çalışmasında üç boyutlu seramik oymacılığı ve iki boyutlu grafik kesimi yapmak için Rhinoceros programında çizimler yapmıştır. Bu çizimleri dxf formatında CNC formatında çalışan robota aktarıp üretimini sağlamıştır. Bu uygulamanın okullarda eğitim olarak verilerek görsel sanat eğitimine yapacağı katkıyı belirtmiştir (Aytepe 2011).

Alp, üç serbestlik derecesine sahip, uç işlevci açıp kapama hareketi yapan bir tutucu olarak seri bağlantılı robot kolu tasarlamış ve prototipini yapmıştır. Tutucuya ivme sensörü ekleyerek tutucunun insan eli hassasiyetinde çalışmasını gerçekleştirmiştir. İvme sensörünün kablosuz kullanılarak uzaktan kontrol edilebileceğini söylemektedir (Alp 2012).

Adar ve diğ. tarafından, üç uzuvlu beş serbestlik derecesine sahip robot manipülatörünün Lagrange-Euler denklemleri ile dinamik modellemesi gerçekleştirilerek hareket denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemlerinin doğruluğunu görmek için robot kollarının serbest düşüşü sağlanarak tüm mafsallar için konum grafikleri çıkarılmıştır. Olması istenilen harekete göre mafsal konumlarının bulunması için PID kontrol algoritması uygulanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sonucunda kübik mafsal yörüngelerinin doğru bir şekilde takip edildiği bulunmuştur (Adar ve diğ. 2013).

Çırak, çalışmasında, iki eklemlili yapıya sahip bir robot kolunun yörünge kontrolünü ve dinamik davranış modelini bilgisayar ortamında benzetimini yapmıştır. Benzetimin doğruluğunu kontrol etmek için hesaplanmış tork metodu ile noktadan noktaya kontrol uygulamıştır. Bu metod ile robot kolunun istenilen noktaya hareketinin doğru olduğu görülmüştür (Çırak 2014).

Havusoğlu, dört eksenli seri bir robot kolu tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Konum kontrolü için kinematik hesaplamalarını yapmıştır. Matlab

programında arayüz oluşturarak kullanıcı tarafından kontrolü sağlamıştır ve aynı program ile simülasyon programı yaparak gerçekleştirdiği fiziksel model ile simülasyonu aynı anda çalışmasını sağlamıştır (Havusoğlu 2014).

Uzuner ve diğ., yaptığı çalışmada, eğitim amaçlı kullanılmak için 150 gr taşıma kapasiteli beş serbestlik derecesine sahip robot kolu tasarlamıştır. Mafsallarda radyo kontrollü servo motor kullanmıştır. İlk olarak ters kinematik denklemleri çözülmüş ve yörünge planlaması için üçüncü dereceden polinom denklemleri kullanılmıştır. Robot kolun kullanıcı tarafından rahat kullanılması için Visual BASIC programında arayüz programı hazırlanmıştır. Geliştirilen bu robot kolun öğrenciler tarafından yapılan robotlarla beraber başarıyla kullanıldığı gözlemlenmiştir (Uzuner ve diğ. 2017).

Alanoğlu, farklı geometrik yapıya sahip olan parçaların uygun bölme yeri olan kısımlarına taşımak için altı eklemlilik uç işlevcisi malzeme tutacak şekilde olan robot kol tasarlamış ve üç boyutlu yazıcıdan baskı alarak imalatını yapmıştır. Bu işlem için gerekli kinematik hesaplamaları yapmış ve parça tanımı için görüntü işleme kullanılacak olan kamera kullanmıştır. Parçaları taşıırken yön bilgisi olmadığından dolayı parçaların taşınacak olan yere tam oturmadığını, motorların düşük hassasiyetli olmasından dolayı sistemin titreşimli çalıştığını ve uç işlevcinin parçayı tutma sensörü eksikliğinden dolayı bazen tutma işlemi yapmadığını belirtmiştir. Bunların önüne geçmek için uç işlevciye sensör ilavesi ve yön tespitinin yapılması gerektiğini ifade etmektedir (Alanoğlu 2017).

Sarıaltın, önceden konumu belli olan bir nesneyi bir noktadan başka bir noktaya taşımak için beş eklemlilik seri robot kolu tasarlamıştır. Robot kolun parçalarını üç boyutlu yazıcıdan baskı alıp montajını yaptıktan sonra mikro kontrol kartı ile kontrol ederek robotun çalışmasını gerçekleştirmiştir. Robot kol tanımlanan işini yerini getirirken eklem motorlarının aynı anda ve kararlı çalışabilmesi için bulanık mantık ile kontrol edilmesi gerektiğini ifade etmiştir (Sarıaltın 2017).

Hamida, parça üzerindeki çapakları temizlemek maksadıyla ilk eklemi prizmatik, diğer eklemlerini dönel olan dört eksenli scara tipinde bir robot kol tasarlamıştır. Sisteme kamera ekleyip görüntü işleme programı vasıtasıyla parçanın konum kontrolünü yapmıştır. Robotun kinematik denklemlerini çıkarmış ve yörünge

planlaması yapılarak uç işlevcinin parça üzerinde çapak temizleme yolu sağlanmıştır. Sistem çıktısı olarak konum ve yörünge hatalarını çıkarmış bu hataların azaltılması için eksen motorlarının ve kameranın daha parametrik, endüstriyel tipte kullanılmasını tavsiye etmiştir (Hamida 2018).

Öztürk, insan kol yapısına benzer kol tasarlamış ve üç boyutlu yazıcıdan parçalarını üreterek imalatını gerçekleştirmiştir. Avuç bölgesinin iç kısmına sensör yerleştirerek avuçta bir parça olup olmadığını tanımlayabilmektedir. Kolu Android cihaz ile uzaktan kontrol etmiştir. Kolun düzgün bir şekilde çalışabilmesi için eklem noktalarına rulman ve hareket algılayıcı sensörler ilave edilmesinin gerektiğini belirtmiştir (Öztürk 2018).

Karataş, tabanı doğrusal hareket eden platform üzerine montajlanan dört serbestlik derecesine sahip dönel bir robot kolu tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Kinematik denklemlerini hesaplayarak Matlab programında doğrulamıştır. Eklem motorlarının seçimi için gerekli olan torkun hesaplanması için Adams programında analizini yapmıştır. Robot kolun kullanıcı tarafından kontrolü için bir arayüz yazılımını gerçekleştirmiştir (Karataş 2019).

Doğan, parçaların bir yerden başka bir yere taşınabilmesi için dört eksenli scara robot kolu tasarlamış ve imalatını gerçekleştirerek çalışmasını sağlamıştır. Eklemlerde redüktörlü servo motor yerine hem maliyeti azaltmak hem de boşluksuz çalışması için vidalı mil ve zincir bağlantısından oluşan tahrik mekanizması oluşturmuştur. Robotun titreşimsiz bir şekilde çalışması için kapalı çevrim ile kontrol edilmesinden söz etmiştir. Yazılımı yapılan kontrol paneli ile kullanıcının kolaylıkla robotu kontrol edebileceğinden bahsetmiştir (Doğan 2019).

Yıldırım, konveyör bandın üzerinde ilerleyen tavuk eti parçalarının birbirinden ayrıştırılması için delta tipi robot tasarlamıştır. Konum kontrolü için kinematik hesaplamaları yapmış ve et parçalarının tespiti için görüntü işleme tekniğini kullanmıştır. Robotun simülasyonunu yaparak çalıştığını görmüş ve ileride imalatının yapılabilirliğini belirtmiştir (Yıldırım 2019).

Çakar, 100gr taşıma kapasitesine sahip beş eksenli seri bir robot manipülatörü tasarlamış ve parçalarını üç boyutlu yazıcıda basarak imalatını gerçekleştirmiştir.

Gerekli olan kinematik denklemleri hesaplamıştır. Robot kolun Ansys programında statik ve dinamik analizini yapmış ve yörünge planlaması hesaplamalarıyla birlikte robot kolun sarsıntısız bir şekilde çalıştırmıştır (Çakar 2020).

Karaca, parça taşımada kullanmak için iki eklemlilik, uç işlevcisi pnömatik tahrik tutuculu olarak robot kolu tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Robotun kinematik hesaplamalarını yaparak konum ve açı kontrolünü sağlamıştır. Eklemlerin düzgün çalışması için Lagrange-Euler denklemlerini kullanarak dinamik hesabını ve yörünge planlamasını yapmıştır. Matlab programında robotun simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Robot kolun tekrarlanabilirlik hatası fazla çıkmasından dolayı imalat hatalarının azaltılması gerektiğini belirtmiştir (Karaca 2020).

Gündoğan tarafından, beş serbestlik derecesine sahip ilk üç eklemli kartezyen son iki eklemli dönel şekilde çalışan kaynak robotu tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Kaynak torcunun uzaktan kontrolü için bir arayüz programı hazırlanmış ve joystick ile kontrol etmiştir. Kaynak kalitesinin daha iyi olması için sisteme sensör veya kamera ilave edilmesi gerektiğini belirtip buna bağlı olarak sanayide kullanılabilirliğinden bahsetmiştir (Gündoğan 2021).

Bu çalışmada imalatı yapılan elektrikli nostaljik tramvayın dış panel saclarının punta kaynak yapılması için tramvay ölçülerine uygun altı eklem yapısına sahip seri bir robot kol ve bu robot kol uç işlevcisinin bütün punta noktalarına ulaşabilmesi için robotun ileri ve geri hareketini sağlayacak olan robotun tabanına lineer eksenli gezer yatağın özgün bir üç boyutlu tasarımı yapıp maliyet ve işgücünün azaltılması, üretim süresini azaltarak gelişen pazara cevap verebilmesi ve üretimdeki kalitenin artırılması hedeflenmiştir.

2. ROBOT KOLLARI

Bu çalışmanın konusu olan robot kolları literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Aşağıda bu sınıflandırma yöntemlerinden biri gösterilmiştir (Akpınar 2008).

2.1. Robot Kollarının Sınıflandırılması

Robot kolları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Hareket eksenlerine ve çalışma alanına göre robot kolları
- Koordinat düzenine göre robot kolları
- Tahrik sistemine göre robot kolları
- Kesinlik derecesine göre robot kolları
- Kontrol sistemlerine göre robot kolları (Akpınar 2008).

Bu sınıflandırmanın detayları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

2.1.1. Hareket Eksenlerine ve Çalışma Alanına Göre Robot Kolları

Kendi eksenini etrafında hareket eden robot koluna tek eklemliler, hem kendi etrafında hem de aşağı yukarı hareket eden robot koluna iki eklemliler, kendi etrafında, aşağı yukarı ve ileri geri hareket eden robot koluna üç eklemliler robot kolu olarak belirtilir. Endüstriyel robot için bu üç eklem olması yeterlidir (Akpınar 2008).

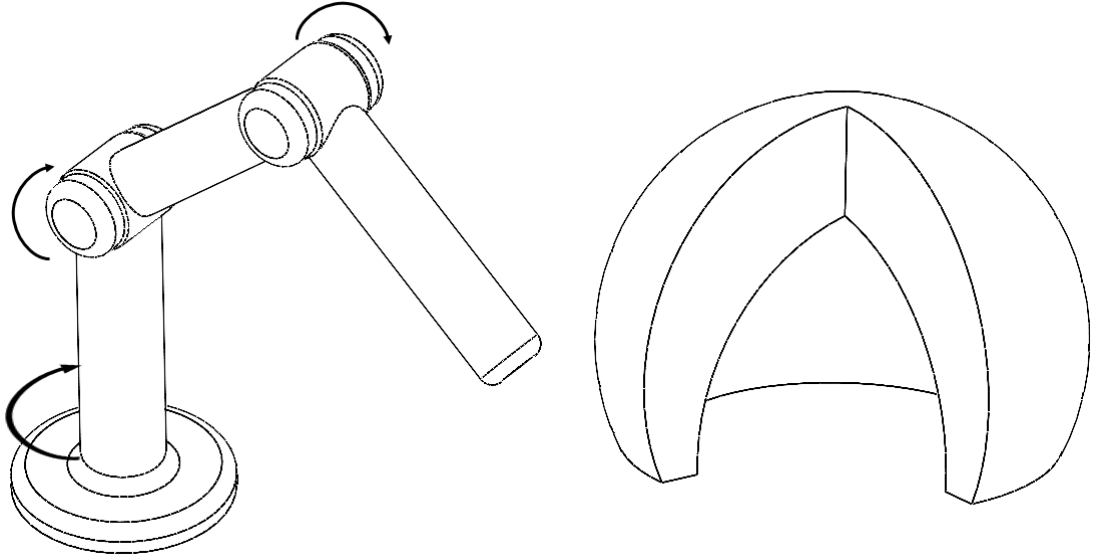
Robot kollar, canlıların yaptıkları hareketlere göre tasarlanır ve geliştirilirler. Robot kol uç işlevcisinin ulaşabileceği bütün noktalara çalışma uzayı denir (Akpınar 2008).

2.1.2. Koordinat Düzenine Göre Robot Kolları

Koordinat düzenine göre robot kolları şu şekilde sınıflandırılır;

- Dönel koordinat
- Küresel koordinat
- Kartezyen koordinat
- Silindirik koordinat (Akpınar 2008).

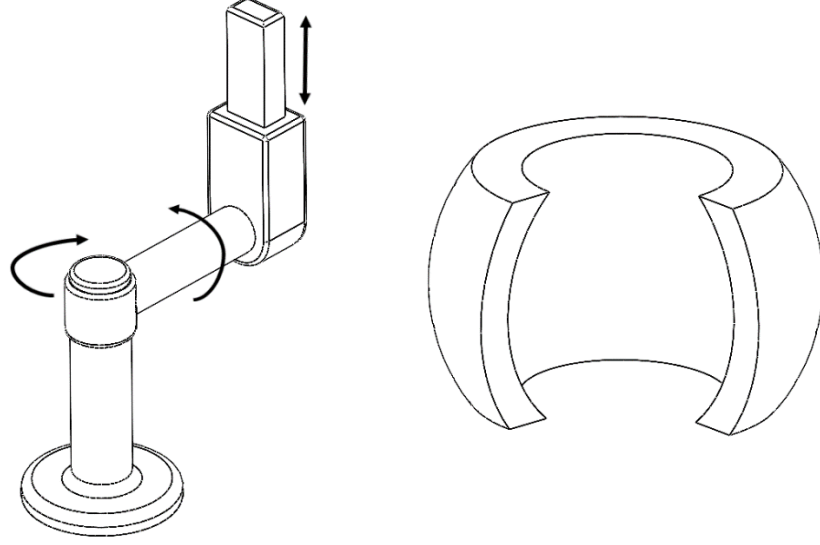
Dönel koordinatlı robot kolları, üç eklem yapısı da dönel olarak çalışan bir robot sistemidir. Dönel eksenler R ile gösterilir ve bu robotlar RRR eklem yapısına sahip robotlar olarak adlandırılır. Çalışma alanları diğer robotlara göre daha geniş ve aynı noktaya farklı açılarda ulaşabildiği için endüstride kaynak, montaj, boyama, paketlenme, kesme gibi yaygın kullanım alanları vardır. Şekil 2.1’de dönel robot kolun yapısı ve çalışma alanı örneği verilmiştir.



Şekil 2.1: Dönel robot kolun yapısı ve çalışma alanı.

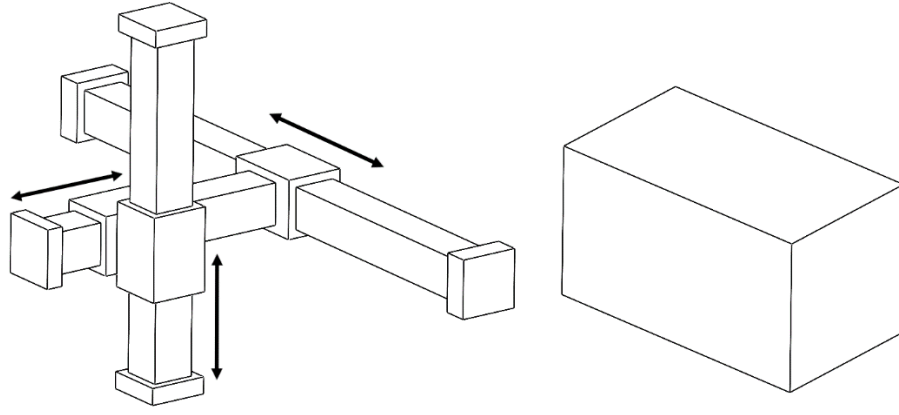
Küresel koordinatlı robot kolları, dönel robot kollarına benzer yapıya sahiptir. Tek farkı üçüncü eksen dönel değil de ileri geri hareketi yapan prizmatik eksene sahiptir. Prizmatik eksen P ile gösterildiğinden dolayı küresel koordinatlı bu robotlar RRP robot olarak da adlandırılır. Küresel koordinatlı bu robotlar tarihin en eski bilinen robot türleridir (Akpınar 2008). Robot kollarının büyüklüğü artarsa

Çalışma uzayı da artar. Küresel koordinatlı robot kolları kaynak, mekanik parça taşıma ve boyama işlemlerinde kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de küresel robotun yapısı ve çalışma alanına örnek verilmiştir.



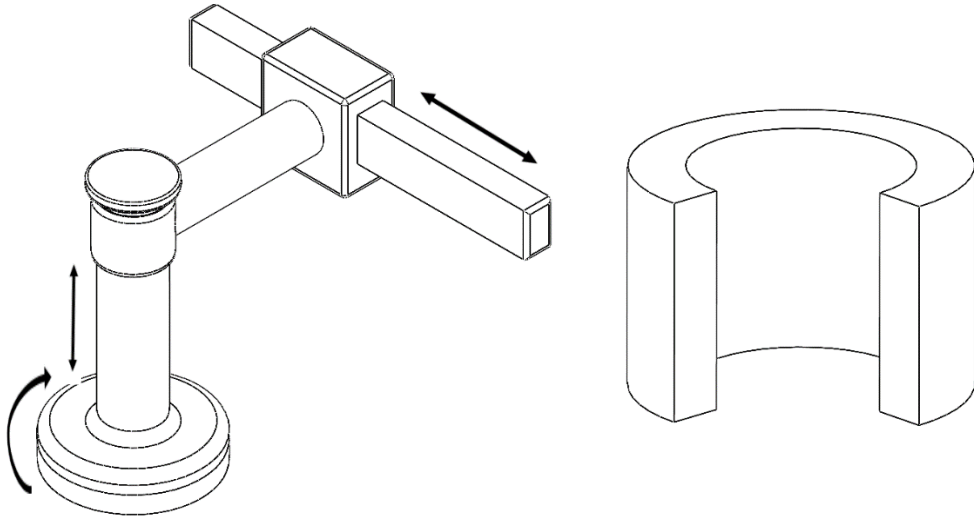
Şekil 2.2: Küresel robotun yapısı ve çalışma alanı.

Kartezyen koordinatlı robot kolları, birbirine dik açılı Şekilde prizmatik olarak hareket ederler. Kartezyen koordinatlı robotlar PPP robot olarak da adlandırılır. Yapısı basit olduğundan dolayı matematiksel modelleme ve kontrolleri kolaydır. Çalışma uzayı üç boyutlu dikdörtgenler prizması Őeklinindedir. Gövde yapısı sağlam olduğundan dolayı ağır yük taşımaya uygundur (Akpınar 2008). Genelde fabrika içi yük taşımada, CNC tezgahlarında yaygın olarak kullanılır. Fazla bakım gerektirmeyen bir sisteme sahip olduğu için üretici tarafından da bu artı yönde bir durum teşkil etmektedir. Prizmatik yataklar toz ve kirden etkilenmemesi için krk gibi malzemelerle korunması gerekir. Şekil 2.3’de kartezyen koordinatlı robot kolun yapısı ve çalışma uzayına örnek verilmiştir.



Şekil 2.3: Kartezyen robotun yapısı ve çalışma alanı.

Silindirik koordinatlı robot kolları, ilk eksen dönel, ikinci ve üçüncü eksenleri prizmatik olan RPP yapıya sahip robotlara silindirik koordinatlı robotlar denir. İlk eksen dönel olduğundan dolayı silindirik bir çalışma uzayına sahiptir. Montaj işlemleri, takım tezgahlarında, punta kaynağı ve taşlama gibi alanlarda kullanılır. Şekil 2.4’de silindirik koordinatlı robot kolun yapısı ve çalışma uzayına örnek verilmiştir.



Şekil 2.4: Silindirik robotun yapısı ve çalışma alanı.

2.1.3. Tahrik Sistemine Göre Robot Kolları

Tahrik sistemine göre hareket eden robot kolları temelde elektrik, pnömatik ve hidrolik tahrik sistemi olmak üzere üç grupta incelenir (Akpınar 2008).

Elektrikli robot kolları, DC, AC servo motorlar ve adım motorlarının kullanıldığı robot kollarıdır. Adım motorları kurulum maliyetinden dolayı diğer motorlara göre daha ucuzdur. Genelde robot tutucularında kullanılır.

Elektrikli robot kollarında daha çok DC servo motorlar kullanılmaktadır. DC servo motorların kullanılmasının sebebi hız ve konumlanmanın daha kolay yapılması, düşük voltajda yüksek tork elde etme gibi sebeplerinden dolayı en çok kullanılan motor tipidir. Ancak elektronik teknolojinin gelişmesiyle birlikte son zamanlarda yerini kurulum maliyeti daha az olan AC servo motorlara bırakmaya başlamıştır. AC servo motorlar DC servo motorlara göre daha az bakım gerektirir.

Hidrolik robot kolları, yüksek güç gerektiren yerlerde hidrolik tahrik sistemi kullanılmaktadır. Ağır sanayide kullanımı yaygındır (Akpınar 2008). Yüksek tork üretirken düşük güç tüketmesi avantajlarından. Hidrolik tahrik sistemli robotların yavaş çalışması ve çevresini yağ sızdırmazlığından dolayı kirletmesi dezavantajlarından.

Pnömatik robot kolları, hava basıncı ile tahrik edilen robotlardır. Genellikle uç işlevcinin al bırak uygulamaları kısa süreli olduğundan dolayı kullanılır. Diğer tahrik sistemlerine göre tasarımı daha basittir. Hava basıncının düzenli kontrol edilememesinden dolayı hassas konumlama yapılamaz.

2.1.4. Kesinlik Derecesine Göre Robot Kolları

Kesinlik derecesine göre robot kolları çözünürlük, hassasiyet ve tekrar edilebilirlik şeklinde üçe ayrılır (Akpınar 2008).

Çözünürlük, eksenlerin hareket adım uzaklığıdır. Eksenlere bağlı olan sensörlere bağlıdır. Bu eksenlerin hareket adımı az olursa çözünürlükte artmış olur.

Hassasiyet, robot uç işlevcisinin belirlenen bir noktaya sıfır hata ile gidebilmesi ile ifade edilmektedir. Robot hassasiyeti, sensörlerden gelen doğru bilgiye, tahrik mekanizmasına, eyleyici yapısına ve hareket kontrol sistemlerine bağlıdır.

Tekrarlanabilirlik, robota daha önceden öğretilen bir noktaya robotun her işleminden sonra aynı noktaya tekrar konumlandırılma yeteneğidir.

2.1.5. Kontrol Sistemlerine Göre Robot Kolları

Kontrol sistemlerine göre robotlar noktasal, yörüngesel ve denetimli olarak üç gruba ayrılır (Akpınar, 2008).

Noktasal kontrol edilen robotlar bir parçayı bir yerden bir yere yerleştirmek için tasarlanmış robotlardır.

Yörüngesel kontrol edilen robotlar kullanıcı tarafından belirlenen özel bir çalışma yörüngesine takip etmek için tasarlanmıştır. Kaynak robotunun kaynak dikiş izini takip etmesi bu gruba örnektir.

Denetimli kontrol edilen robotlar yörüngesini takip ederken herhangi bir engel ile karşılaştığında engele çarpmamak için yörüngesini tekrar düzenler.

2.2. Robotik Kaynak Sistemleri

Kaynak, genellikle plastik ya da metal malzemelerin birbirine basınç ve ısının bir arada ya da ayrı ayrı verilmesiyle yapılan ekleme işlemidir.

Robotlar ile yapılan kaynak işlemleri kaliteli, verimli, esnek ve zamandan tasarruf sağlaması gibi faydalar sağladığından endüstride kullanımı yaygındır. Buna bağlı olarak firmalar arasında rekabeti oluşturduğundan kaynak robotlarının kullanımı artmaktadır (Gündoğan 2021).

Kaynak robotlarının her endüstri alanında kullanımı olabilir. Genellikle otomotiv, havacılık, metal ve yapı sektörlerinde kullanımları vardır.

Genellikle otomotiv sektöründe punta ve ark kaynak robotu olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe 1960 yıllarında Amerika Birleşik

Devletleri'nde kullanılmaya başlanmış ve 1980 yıllarından sonra otomotiv sektöründe kullanımı yaygınlaşmıştır (Robentex 2023).

Kaynatılacak olan parçanın tekrarlanabilirlik hassasiyeti eğer robot kaynak telinin 1,5 katı değilse, hassas kaynak yapılabilmesi için ark, dokunma ve kaynak dikişi izleme gibi sensörlerin kullanılması gerekmektedir. Kaynak noktasının başlama yerinin tespiti için dokunma sensörü, kaynak dikişi hattında olabilecek herhangi parça hatasının önüne geçmek için ise ark sensörü kullanılmalıdır (Eğilmez 2005).

Kaynak robotu her ne kadar kaliteli, hızlı ve düzgün iş yapabilse de bu, kullanıcı tarafından belirtilen kaynak ayarlarına bağlıdır. Bazı uygulamalarda robotun yapamayacağı kaynak uygulamalarını kullanıcı yapabilir. Onun içindir ki düzgün sonuçların elde edilebilmesi için kaynak ayarları iyi yapılmalıdır. Operatörün kolaylıkla yapabileceği kaynak uygulamaları varsa maliyeti daha az olan kaynak robotu sistemi kullanılarak maliyetten tasarruf edilebilir (Eğilmez 2005).

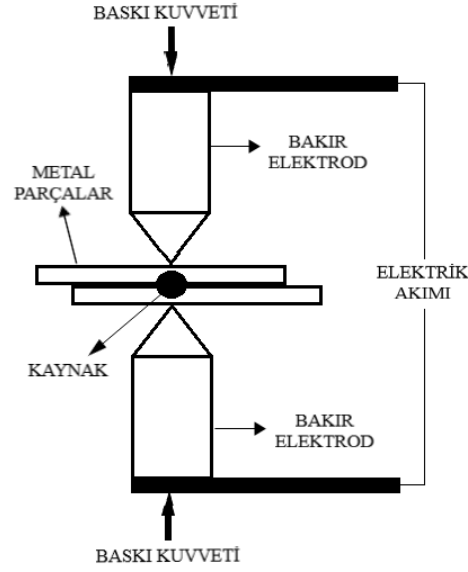
Bir kaynak operatörü, mesai saatinin yüzde 20 ile yüzde 30'u arasında kaynak işlemi yapabiliyorken, kaynak robotu yüzde 60 ile yüzde 70 arasında kaynak işlemi yapabilir. Bu değerlerden anlaşılacağı gibi kaynak robotu operatörden yaklaşık 3 kat daha hızlı çalışarak zamandan tasarruf sağlayabilir (Türker 2015).

2.3. Robot Kolları ile Uygulanabilen Kaynak Yöntemleri

Robotlu kaynak uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri punta kaynağı olup, MIG/MAG, TIG ve plazma kaynakları da robotlar ile başarıyla yapılabilmektedir (Eğilmez 2005).

2.3.1. Punta Kaynak

Punta kaynağı, genellikle 3mm'ye kadar kalınlığı olan iki metalin alttan ve üstten bakır elektrotlar ile kaynak olacak metallere kısa süreliğine elektrik akımı geçirilerek ve bu metallere oluşan dirençten kaynaklı oluşan ısı ile birbirine kaynak yapıldığı uygulamadır. Şekil 2.5'de punta kaynağının uygulama görseli verilmiştir.



Şekil 2.5: Punta kaynağı uygulaması.

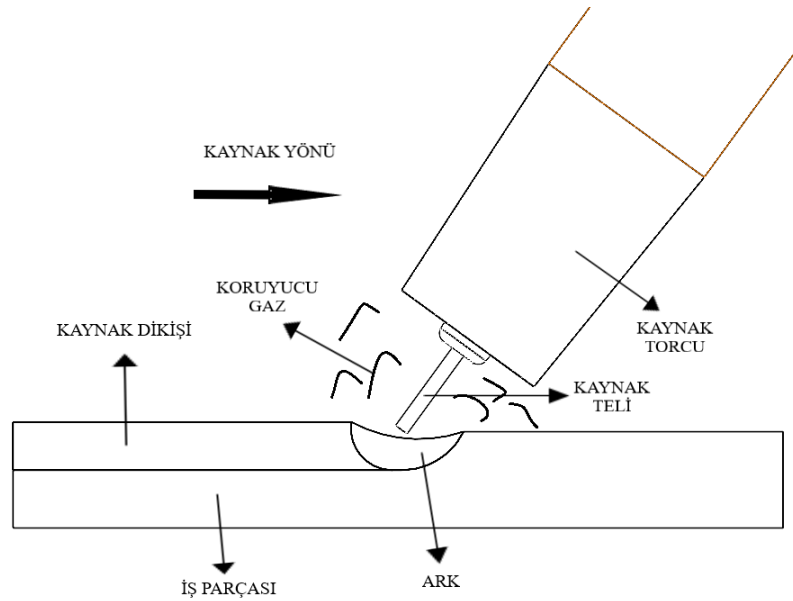
Punta kaynağı, elektriği ileten sac ve tel örgüleri birleştirmek için kullanılır. Genelde ince metalleri kaynaklamak için kullanılır. Özellikle ince kalınlıklarda perçin konstrüksiyonun yerini almıştır. Çoğunlukla otomobil ve beyaz eşya endüstrisinde kullanılır. Tek bir aracın gövde panelleri üzerinde yaklaşık olarak 1000'den fazla punta kaynağı vardır. Bu işlem punta kaynak robotlarıyla birkaç saniye içinde yapılır.

Nokta direnç kaynağında kullanılacak olan robotlar, kaynak uygulamasını gerçekleştirebilmek amacıyla birtakım kabiliyet ve niteliklere sahip olmalıdır. Çalışma alanı, kaynak yapılacak olan malzemenin ölçülerine uygun olmalıdır. Robot, parçadaki ulaşılması zor olan alanlarda kaynak tabancasını amaca uygun bir şekilde konumlandırabilmeli ve kaynak edebilmelidir. Bu ise serbestlik derecesinin sayısının artmasını beraberinde getirir. Birtakım işlemlerde kaynak hattının, birden fazla değişik modeldeki parçanın imalatı için uygulanması gerekebilir. Bundan dolayı kaynak uygulanacak yörünge değiştiğinde, robotlar programlar arası geçiş yapabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Dolayısıyla, farklı farklı işleve sahip robot kaynak uygulamaları için, çeşitli kaynaklarda değişik yörüngelerin takip edilebilmesi ve farklı farklı kaynak yollarının programlarının kaydedilebilmesi amacıyla tekrar programlanabilen bir kontrolör kullanılır. Robot tarafından gerçekleştirilen punta kaynak işlemi otomasyonunda dayanıklılığı artırılmış kaliteli mamul, kaynak ustasının güvenliğinin sağlanması ve uygulama operasyonunda elle kaynağa nazaran iyi bir

hâkimiyet sağlanması önemli birer avantajdır. Robotlu kaynak uygulamalarının sapmasız aynı pozisyon için tekrarlanabilir olması kaynak kalitesinde artış ve kaynak dikişlerinde daha tutarlılık sağlar (Eğilmez 2005).

2.3.2. Gaz altı Kaynak

1930'larda geliştirilen bu yöntem, metal imalat endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir çeşit ark kaynağı şeklinde de anılan gaz altı kaynak yöntemi, kaynakta gereken enerjiyi, ergiyen elektrot ile kaynak yapılacak malzeme arasında oluşturarak birleştirme işlemi yapan bir kaynak yöntemidir. Elektrot ile yapılan kaynak yönteminde kaynağı yapılan iş parçasının kaynak bölgesine yakın kısımları ve kaynak banyosuyla üretilen ark, kaynakta kullanılan gazlar ile çevrenmekte olup, atmosferin sebep olduğu bütün zararlardan kaynak bölgesi korunabilmektedir. Neredeyse tüm metal ve alaşımları bu metotla birleştirilebilir. Kaynak uygulamasının özelliğinden dolayı jeneratörlerin kullanımı oldukça kolaydır. Bu yöntemle yapılan kaynak uygulamalarında diğer alışlagelmiş metal ark kaynaklarına nazaran yaklaşık 2 katı kadar kaynak verimi sağlaması ile de maliyeti azalttığı da söylenebilir (Demirtaş 2020). Şekil 2.6'da gaz altı kaynağının uygulama görseli verilmiştir.



Şekil 2.6: Gaz altı kaynağı uygulaması.

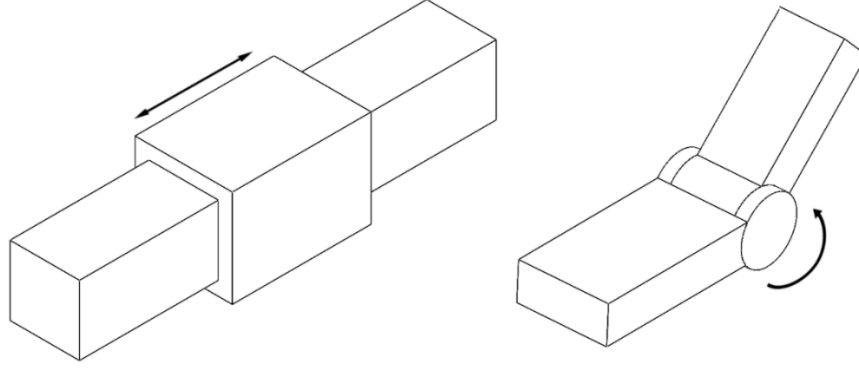
Gaz altı kaynak yöntemlerinde düşük amper, küçük voltaj değeri ve küçük çapa sahip elektrot ile beraber kısa devre yöntemi uygulanılır. Böylece damlacıklar şeklinde elektrottan kaynak yapılacak malzemeye metal geçici olur ve elektrotun uç kısmı ergiyen alana değdiğinde kısa devre oluşur. Buna karşın, yüksek amper ve büyük çapa sahip elektrot ile yapılan kaynak uygulamalarında metal geçişi farklı biçimde oluşarak geçişi yapılan metalin miktarında hızlı bir biçimde artış olur. Bu yöntemle kalın ve basit parçaların birleştirme işlemleri yapılabilir. Yalnız gaz altı ark kaynak uygulamasında sıcaklık bir hayli düşük olduğundan bu yöntem 6 mm'den daha az kalınlığa sahip parçalar için daha uygun bir yöntemdir (Demirtaş 2020).

İmalatta gaz altı kaynak yöntemi diğer metal ark kaynaklarının yerine kolaylıkla uygulanabilir. Bu yöntem robotlu kaynak uygulamaları ile de esnek üretim metotları için uygun şekle dönüştürülebilir. Fakat robotlu kaynak uygulamalarında robotun bilgisayara bağlı elektronik aksamı, kaynağın yaymış olduğu yüksek frekansın oluşturduğu etkileşimlerden muhafaza edilmelidir (Demirtaş 2020).

2.4. Robot Kollarının Kinematığı

Kinematik dinamiğin bir alt dalıdır. Kinematik cisimlerin konum, hız, zaman ve ivme gibi özelliklerini matematiksel olarak inceler. Hareket eden bir cismin konum zaman grafiği kinematığın konusudur.

Bir robot kol mekanizması iki ana unsurdan oluşur. Bunlardan birincisi kol (manipülatör), ikincisi ise kolları birbirine bağlayan eklemlerdir. Eklem bağlantıları dönme ve öteleme olarak iki çeşittir. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere dönme hareketi yapan eklem kolları oluşturduğu açıya eklem açısı, öteleme hareketi yapan eklem kolları oluşturduğu mesafeye eklem kayması olarak adlandırılır.



Şekil 2.7: Öteleme hareketi (solda) ve dönme hareketi (sağda).

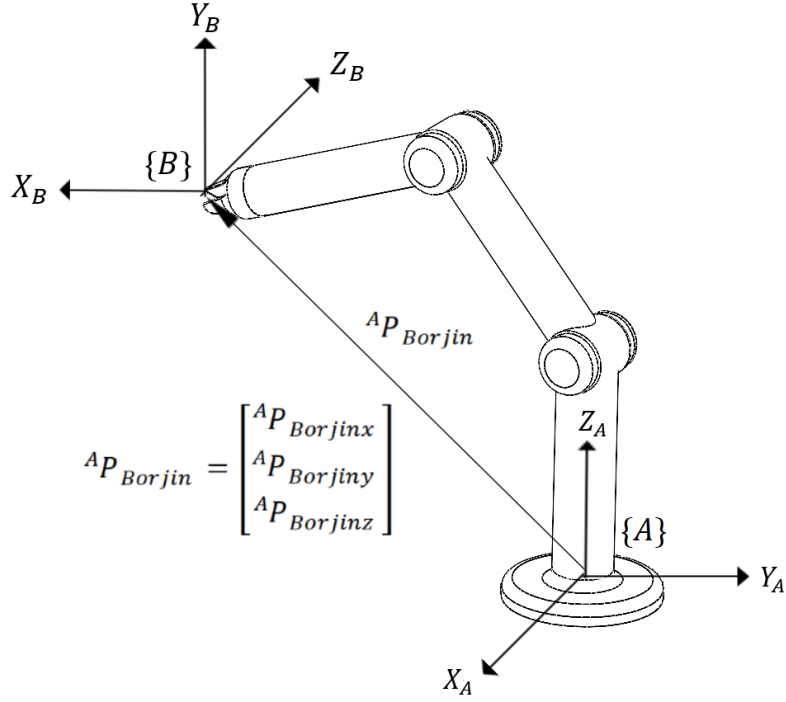
Endüstriyel robotlar tasarlanma şekline göre seri veya paralel olarak tasarlanırlar. Seri eklem yapısına robotlar birbiri ardına eklenen uzuvlardan oluşur. Eklemlerin konum ve yönelimleri bir önceki ve bir sonraki olarak ifade edilir. Bu ifadeler 4x4 matris şeklinde tanımlanır ve bu matrise homojen dönüşüm matrisi denir.

2.4.1. Konum

Uzayda tanımlanan bir koordinat ekseninin içine bir nokta tanımlanabilir. Bu noktanın bu koordinat ekseninin merkezine göre bir konumu vardır. Örneğin bir P noktasının A tanımlı bir koordinat ekseninin merkezine göre konumu (2.1) eşitliğindeki gibi tanımlanır.

$${}^A P = \begin{bmatrix} {}^A P_X \\ {}^A P_Y \\ {}^A P_Z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Şekil 2.8’de robot kol uç işlevcisinin robotun tabanına göre uzaklığını belirtmek için tabana A koordinat eksenini ve uç işlevciye B koordinat eksenini tanımlanarak bu iki koordinat eksenleri arası uzaklık belirtilmiştir.



Şekil 2.8: Robot kol uç işlevcinin A ve B koordinat eksenlerine göre tanımı.

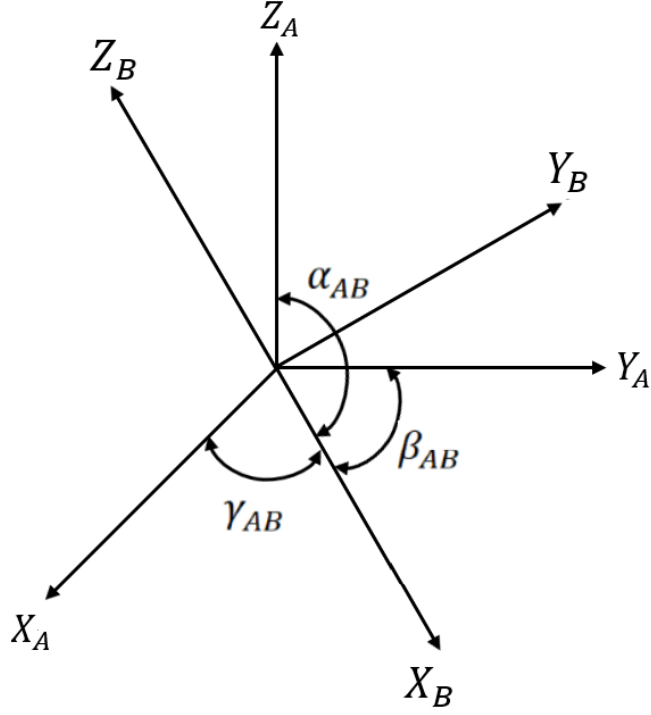
2.4.2. Yönelim

Yukarıdaki Şekil 2.8’de uç işlevcinin koordinat ekseninin taban koordinat eksenine göre dönmesi vardır. Bu dönmeye yönelim denir. Uç işlevcinin robot tabanına göre yönelimi diye belirtilir. Yönelim üç boyutlu bir uzayda 3x3 boyutlu bir matristir ve (2.2) eşitliğindeki gibi ifade edilir (Bingül ve Küçük 2005).

$${}^A R_B = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

(2.2) eşitliğindeki 1. sütun B koordinatının A koordinatına göre X eksenindeki dönmesini, 2. sütun B koordinatının A koordinatına göre Y eksenindeki dönmesini ve 3. sütun B koordinatının A koordinatına göre Z eksenindeki dönmesini belirtir.

Şekil 2.9’da A koordinatı ve B koordinatı çakışık, dönme miktarları da şekilde belirtildiği gibi olsun. Bu durumda yönelim (2.3) eşitliğindeki gibi yazılabilir (Bingül ve Küçük 2005).



Şekil 2.9: Merkezleri çakışık iki koordinat sistemi.

$${}^A R_B = \begin{bmatrix} |X_B||X_A| \cos \gamma_{AB} & |Y_B||X_A| \cos \theta_{AB} & |Z_B||X_A| \cos \phi_{AB} \\ |X_B||Y_A| \cos \beta_{AB} & |Y_B||Y_A| \cos \phi_{AB} & |Z_B||Y_A| \cos \delta_{AB} \\ |X_B||Z_A| \cos \alpha_{AB} & |Y_B||Z_A| \cos \psi_{AB} & |Z_B||Z_A| \cos \sigma_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

2.4.3. Genel Dönüşüm

Konumları ve yönelimleri farklı olan A ve B koordinat eksenlerinin birbirlerine göre genel dönüşümü (2.4) eşitliğindeki gibi 4x4 matris ile tanımlanır ve bu eşitliğe “homojen transformasyon matrisi” denir (Bingül ve Küçük 2005).

$${}^A T_B = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Burada p_x , p_y ve p_z B koordinat ekseninin A koordinat eksenine göre konumunu, r_{11} , r_{12} , r_{13} , r_{21} , r_{22} , r_{23} , r_{31} , r_{32} ve r_{33} B koordinat ekseninin A koordinat eksenine göre yönelimini verir.

2.4.4. İleri Kinematik

İleri kinematik robot kol eklemlerine eklem açıları değerleri verilerek uç işlevcinin hangi noktaya gitmesi gerektiğini ile ilgilenir. Her kol arasına mafsal bağlantıları eklenerek seri bir robot kolu oluşturulur. Mafsalların her birine koordinat sistemleri belirtilerek yukarıda verilen eşitlik (2.4) ile bir önceki mafsal ile bir sonraki mafsal arası homojen transformasyon matrisi eşitliği çıkarılır. Çıkarılan bu matrisler (2.5) eşitliğindeki gibi birbiri ile çarpılarak robot tabanı ile uç işlevci arasındaki ileri kinematik ilişkisi tanımlanmış olur (Bingül ve Küçük 2005).

$${}^0T_i = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 \dots {}^{i-1}T_i \quad (2.5)$$

Robotun ileri kinematik denklemlerini çıkarmak için aşağıdaki sıralama ile birlikte işlemler yapılarak denklemler çıkarılır.

1. Robotun açık kinematik zinciri oluşturulur.
2. Açık kinematik zincirde her ekleme koordinat eksenleri yerleştirilir.
3. Bütün eklemler için Denavit-Hartenberg tablosu oluşturularak değişkenler belirlenir.
4. Her eklem için homojen dönüşüm matrisleri çıkarılır.
5. Homojen dönüşüm matrisleri birbiri ile çarpılarak (2.4) eşitliğindeki gibi genel bir homojen dönüşüm matrisi elde edilir. Burada p_x , p_y ve p_z uç işlevcinin taban merkezine göre konumunu verir.

2.4.4.1. Koordinat Sisteminin Yerleştirilmesi

Açık kinematik zinciri oluşturulan robota koordinat sistemleri aşağıdaki sıralama ile belirlenir;

1. Her bir dönme ve kayma eksenine paralel eksen çizilir ve bu eksen Z eksenini olarak adlandırılır.

2. X eksenini eğer Z eksenleri birbirine paralelse uzuv boyunca, ya da bir sonraki Z eksenini elde etmek için mevcut Z ekseninin çevrilmesi gereken eksen olarak seçilir.
3. Sağ el kuralının uygulanmasıyla Y eksenini belirlenir.

Sağ el kuralı, sağ avuç içi yukarıya bakacak şekilde çevrilir. Orta parmak yukarıya, işaret parmağı karşıya ve baş parmak sağ tarafa doğru bakacak şekilde konumlandırılır. Burada orta parmak Z eksenini, işaret parmak Y eksenini ve baş parmak ise X eksenini belirtir.

2.4.4.2. Denavit-Hartenberg Yöntemi

Denavit-Hartenberg yönteminde dört değişken olan kol uzunluğu (a), kol açısı (α), eklem kaçıklığı (d) ve eklem açısı (θ) tanımlanarak ileri kinematik problemleri çözülebilir.

Bu dört değişken aşağıda belirtilen kurallara göre belirlenir;

- a_{i-1} , birbirini takip eden Z eksenleri arasında X_{i-1} eksenini doğrultusunda olan uzunluk
- α_{i-1} , birbirini takip eden Z eksenleri arasında X_{i-1} eksenini etrafındaki açı
- d_i , birbirini takip eden X eksenleri arasında Z_i eksenini doğrultusunda olan uzunluk
- θ_i , birbirini takip eden X eksenleri arasında Z_i eksenini etrafındaki açı (Bingül ve Küçük 2005).

D-H parametreleri çıkarıldıktan sonra (2.6) eşitliğinde verilen homojen dönüşüm matrisi kullanılır.

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} d_i \\ \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & -\cos\alpha_{i-1} & -\cos\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Her bir eklem homojen dönüşüm matrisi çıkarıldıktan sonra birbiri ile çarpılır ve genel bir homojen dönüşüm matrisi bulunur.

$${}^0_iT = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T \dots {}^{i-1}_iT \quad (2.7)$$

$${}^0_iT = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Burada p_x , p_y ve p_z uç işlevcinin taban merkezine göre konumunu, r_{11} , r_{12} , r_{13} , r_{21} , r_{22} , r_{23} , r_{31} , r_{32} ve r_{33} ise uç işlevcinin taban merkezine göre yönelimini belirtir.

2.4.5. Ters Kinematik

Ters kinematik, uç işlevcinin çalışma uzayında belirlenen bir noktaya gidebilmesi için uzuv açılarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Literatürde ters kinematik çözümleri için farklı metotlar önerilmiştir. Bunlar analitik, nümerik ve geometrik çözümlerdir. Bu tez kapsamında altı eksenli seri manipülatörün geometrik ve analitik çözümü ele alınacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tramvayın punta yapılacak noktalarının üç boyutlu uzaydaki koordinatlarının belirlenebilmesi için tramvayın üç boyutlu tasarımı yapılmış ve tüm punta noktalarının konum koordinatları belirlenmiş ve EK A'da verilmiştir.

Tramvayın dış panel saclarını punta kaynak yapmak için tramvayın boyutlarına uygun üç boyutlu tasarım ortamında altı eksenli Euler bilekli seri bir robot manipülatörü tasarlanmıştır.

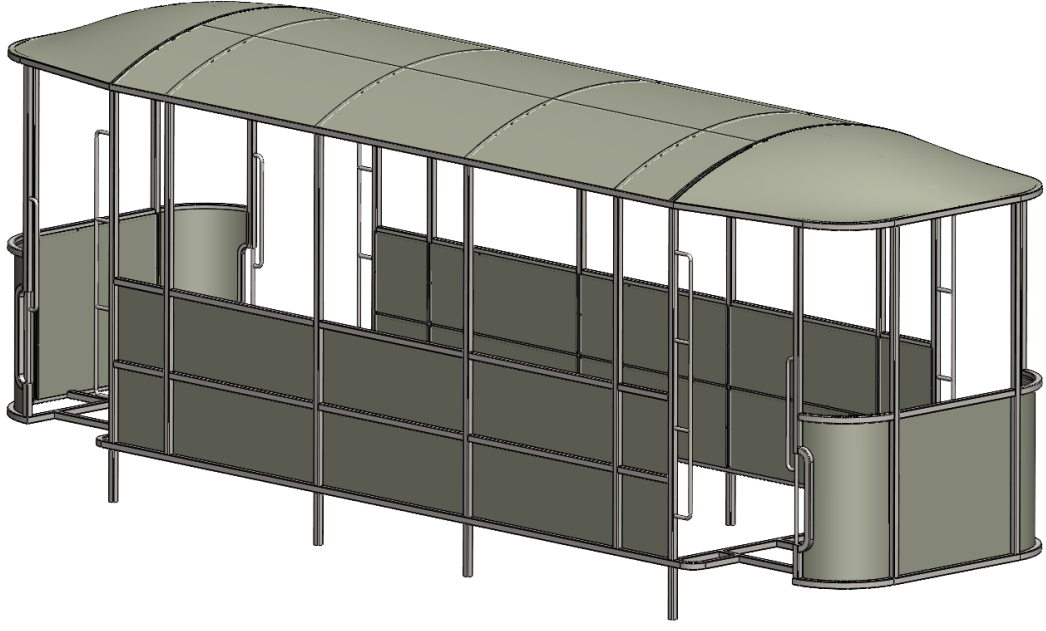
Robot kolun hareket kontrolü yapılabilmesi için ileri ve ters kinematik denklemleri çıkarılmış ve bu denklemler Matlab ortamında yazılımı yapılarak gerekli olan altı adet eksenin açıları bulunmuştur.

Robot kaynak telinin punta işlemi yaparken hangi yörüngeyi izleyerek punta kaynak yapması gerektiğinin belirtilmesi için tramvaydaki örnek bir sac panel için eklem uzayında üçüncü dereceden polinom denklemleri kullanılarak yörünge planlaması yapılarak denklemler çıkarılmıştır. Bu denklemler Matlab Simulink ortamında modellenmiştir.

Üç boyutlu tasarımı yapılan robot kolun Matlab Simulink ortamında modellenip simülasyonu yapılarak üretimi yapılmadan çalışma şekli görülmüştür.

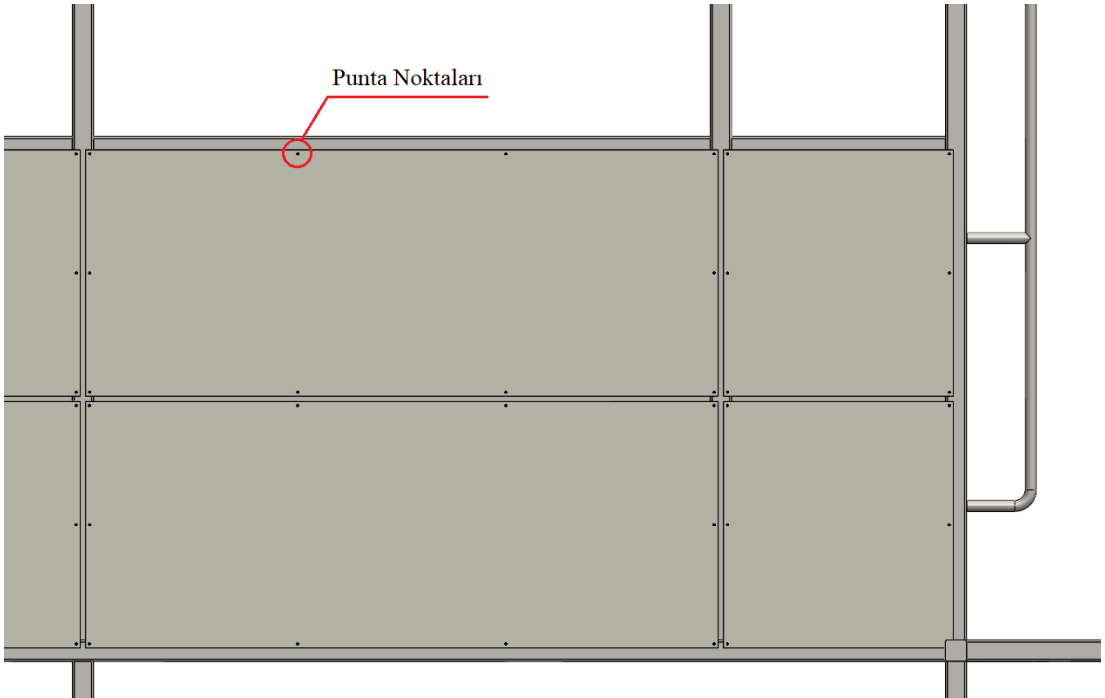
3.1. Robot Gövde Tasarımı

Şekil 3.1'de tramvayın sac aksamının genel görünümü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tramvayın dış panel sacları, profillerin iç kısımlarına parça parça köşelerinden operatör tarafından dört adet punta kaynağı yapılarak tramvayın iç kısmından robot kol ile punta kaynağı yapıp sabitlenmektedir.



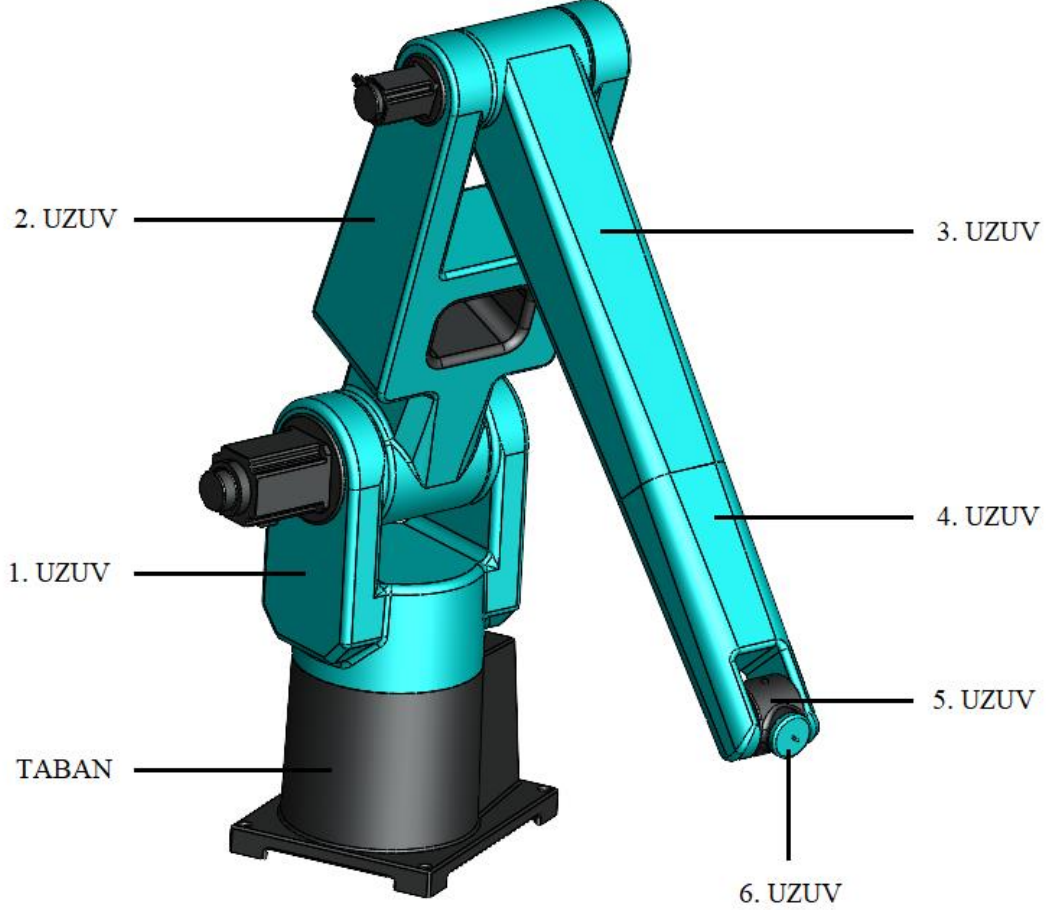
Şekil 3.1: Tramvayın sac montajı.

Şekil 3.2’de bahsi geçen tramvayın sac panelleri ve punta noktaları gösterilmiştir.



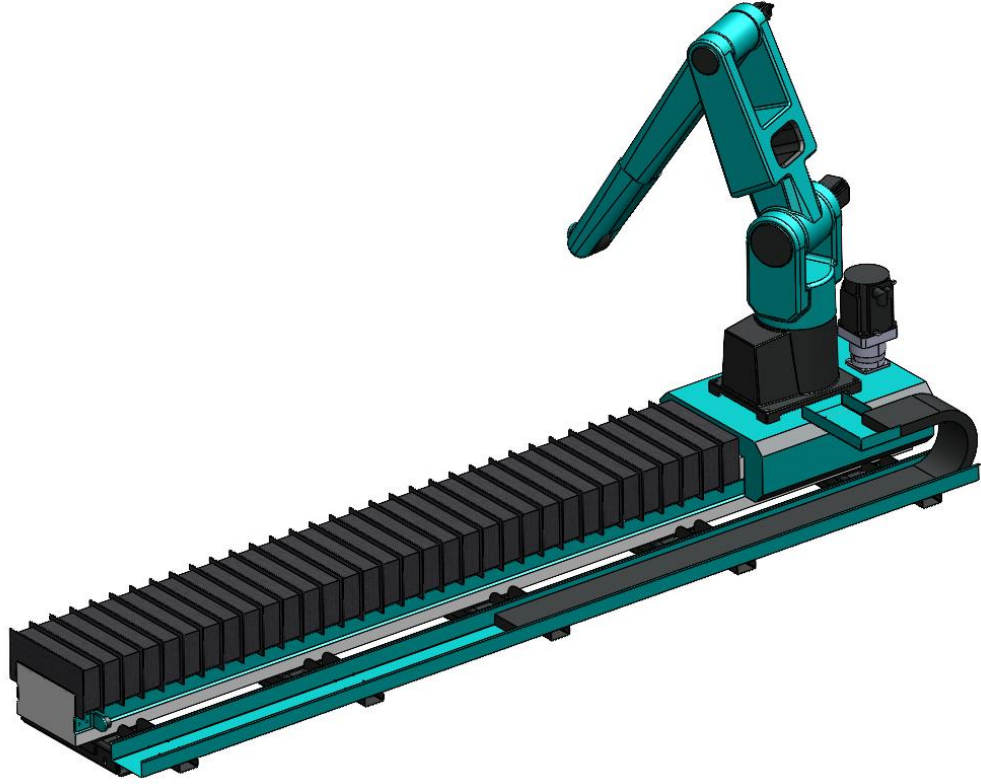
Şekil 3.2: Tramvayın örnek bir yan sac panelleri.

Robot manipulatörünün üç boyutlu tasarımı Şekil 3.3’de görüldüğü gibi altı eksen seri manipulatör (RRRRRR) Euler uç bilekli olacak şekilde Solidworks programında tasarlanmıştır. Altıncı uzva kaynak teli sürme aparatı bağlanarak panel sacın punta yapılacak olan noktasına kısa süreliğine ark verilerek punta yapılması sağlanacaktır.



Şekil 3.3: Robot kolun yapısı.

Tramvayın yaklaşık boyutları 2000 mm x 7000 mm x 3000 mm olduğu için robot kaynak telinin tek bir referans noktadan tüm punta noktalarına kaynatması mümkün değildir. Bunun için robot manipulatörünün tabanına ileri geri hareketini sağlamak için Şekil 3.4’de gösterildiği gibi üç boyutlu doğrusal kızak sistemi tasarlanmıştır.

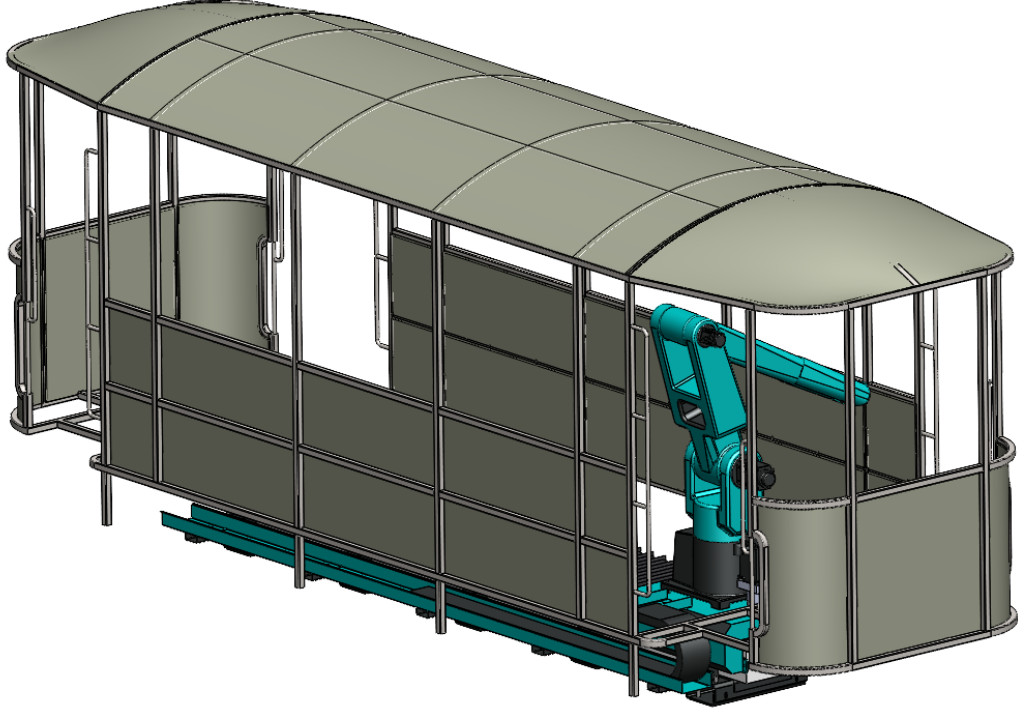


Şekil 3.4: Robot kolun doğrusal kızak sistemine montajı.

Sac panellerin tramvayın iç kısmından punta kaynak edilmesi ve bunun maliyetini indirmek adına tek bir robot kolu ile tamamlamak için Şekil 3.4'deki sistem tramvayın içinde çalışacaktır. Tasarlanan robot sisteminin yere sabitlenmesi, tramvayın ise vinç yardımı ile sistemin üzerine indirilmesi planlanmaktadır.

Tramvay simetrik bir tasarıma sahiptir. Dolayısıyla robot kolun tramvayın içinde iki adet referans noktası verilerek punta kaynak yapılması sağlanılmıştır. İlk referans noktası doğrusal kızıağın sağ tarafındaki son limit yeri, ikinci referans noktası ise doğrusal kızıağın sol tarafındaki son limit yeridir. Robot kol ilk olarak birinci referans noktasına alınmalıdır ve birinci bölgenin punta kaynak işlemleri bittikten sonra robot kol ikinci referans noktasına alınarak ikinci bölgenin punta kaynak işlemleri yapılır ve tramvayın punta kaynak işlemleri tamamlanır.

Şekil 3.5'de robot kolun birinci referans noktasındaki konumu ve Şekil 3.6' da ikinci referans noktasındaki konumu verilmiştir.



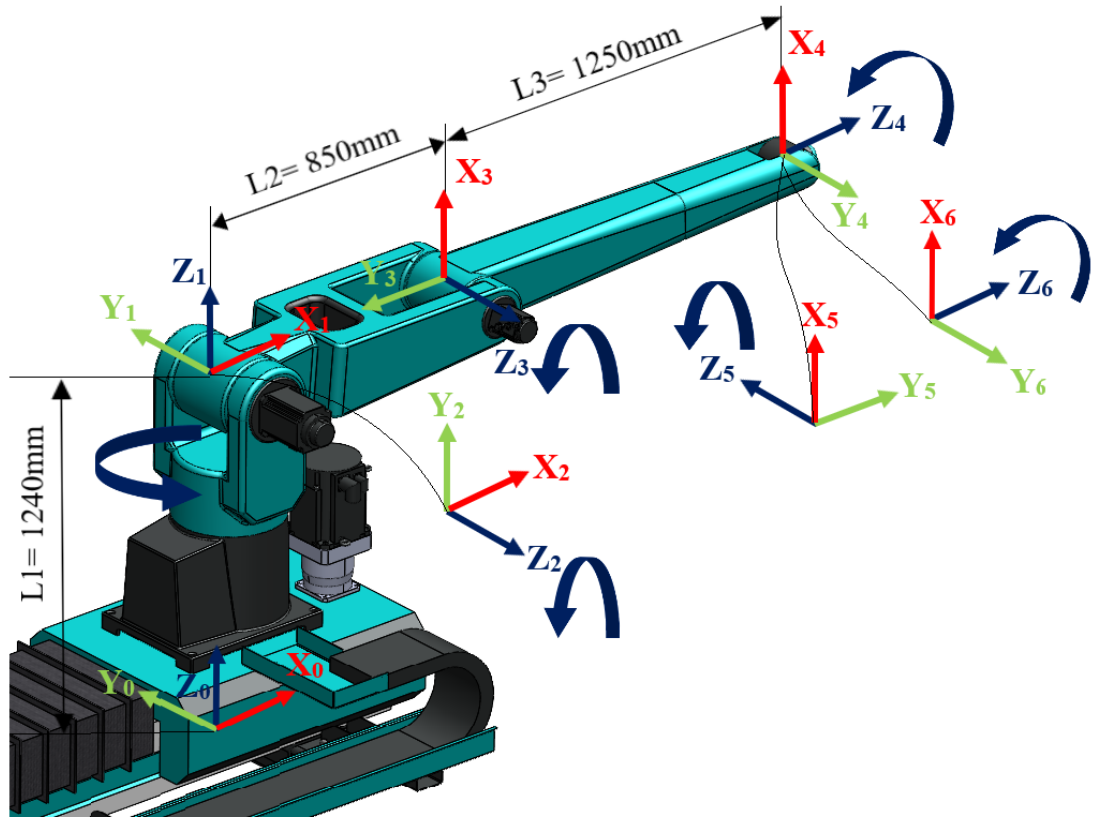
Şekil 3.5: Robot kolun birinci referans noktasındaki konumu.



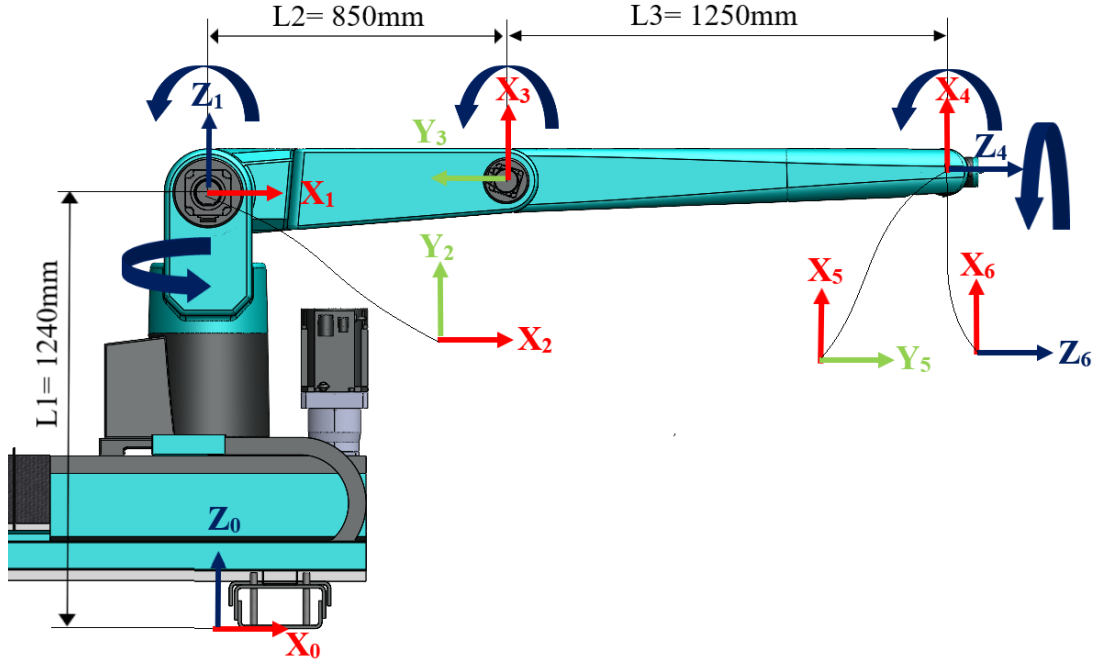
Şekil 3.6: Robot kolun ikinci referans noktasındaki konumu.

3.2. İleri Kinematik

İleri kinematik denklemleri çıkarmadan önce ilk olarak robot kolun açık kinematik zincirini oluşturmak ve eklem noktalarına eksen takımlarının yerleştirilmesi gerekir. Şekil 3.7’de robot kolun eklem noktalarına eksen takımlarının yerleştirilmesi perspektif olarak Şekil 3.8’de yan görünüm olarak gösterilmiştir. Doğrusal hareketi sağlayacak olan kızak sistemi ileri ve ters kinematik hesaplamalara dahil edilmemiş, bunun yerine birinci ve ikinci bölgeler için doğrusal hareket eden arabanın sabit iki noktaya gitmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.7: Robot koluna eksen takımlarının yerleştirilmesi.



Şekil 3.8: Robot koluna eksen takımlarının yerleştirilmesi (yan görünüm).

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’den görüleceği gibi robot kolunun, taban ile ikinci eklem arası 1240 mm, ikinci ve üçüncü eklem arası 850 mm ve üçüncü ve dördüncü eklem arası 1250 mm’dir.

Öncelikle her bir ekleme Z eksenini yerleştirilir. Eklem dönme yönleri Z eksenini olarak belirlenmelidir. Daha sonra Denavit-Hartenberg’de sistemi ifade edebilecek parametreler çıkabilecek şekilde X eksenini yerleştirilir. X eksenini genellikle uzuv boyunca veya bir önceki koordinat sistemini X ekseninde çevirince bir sonraki elde edilecek şekilde seçilmeye çalışılır. Daha önce bahsedildiği üzere sağ el kuralı dahilinde Y eksenini yerleştirilir.

Daha sonra Denavit-Hartenberg (D-H) parametre tablosu aşağıdaki ifadeler doğrultusunda oluşturulur.

- a_{i-1} , birbirini takip eden Z eksenleri arasında X_{i-1} eksenini doğrultusunda olan uzunluk
- α_{i-1} , birbirini takip eden Z eksenleri arasında X_{i-1} eksenini etrafındaki açı
- d_i , birbirini takip eden X eksenleri arasında Z_i eksenini doğrultusunda olan uzunluk

- θ_i , birbirini takip eden X eksenleri arasında Z_i eksenini etrafındaki açı (Bingül ve Küçük 2005).

Tablo 3.1: Robot kolun D-H parametre tablosu.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i	Değişken
1	0	0	L1	θ_1	θ_1
2	90	0	0	θ_2	θ_2
3	0	L2	0	$\theta_3 + \pi/2$	$\theta_3 + \pi/2$
4	90	0	L3	θ_4	θ_4
5	90	0	0	θ_5	θ_5
6	-90	0	0	θ_6	θ_6

D-H parametreleri çıkarıldıktan sonra (2.6) eşitliğinde verilen homojen dönüşüm matrisine göre her bir eklemin dönüşüm matrisi elde edilir.

$i=1$ için;

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$i=2$ için;

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$i=3$ için;

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3 + \pi/2) & -\sin(\theta_3 + \pi/2) & 0 & L2 \\ \sin(\theta_3 + \pi/2) & \cos(\theta_3 + \pi/2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$i=4$ için;

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -L3 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$i=5$ için;

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & -\sin\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$i=6$ için;

$${}^5_6T = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_6 & -\cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

bulunur.

Her bir dönüşüm matrisi birbiri ile çarpılırsa genel dönüşüm matrisi bulunur;

$${}^0_6T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (3.7)$$

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} . & . & . & L3(\cos\theta_1\cos\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_1\cos\theta_3\sin\theta_2) + L2\cos\theta_1\cos\theta_2 \\ . & . & . & L3(\cos\theta_2\sin\theta_1\sin\theta_3 + \cos\theta_3\sin\theta_1\sin\theta_2) + L2\cos\theta_2\sin\theta_1 \\ . & . & . & L1 + L2\sin\theta_3 - L3(\cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3) \\ . & . & . & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

(2.8) eşitliğinde homojen transformasyon matrisinin dördüncü sütunun ilk üç satırı uç işlevcinin konumunu belirttiği bahsedilmişti. Buna göre uç işlevcinin konumu buradan;

$$p_x = L3(\cos\theta_1\cos\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_1\cos\theta_3\sin\theta_2) + L2\cos\theta_1\cos\theta_2 \quad (3.8)$$

$$p_y = L3(\cos\theta_2\sin\theta_1\sin\theta_3 + \cos\theta_3\sin\theta_1\sin\theta_2) + L2\cos\theta_2\sin\theta_1 \quad (3.9)$$

$$p_z = L1 + L2\sin\theta_3 - L3(\cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3) \quad (3.10)$$

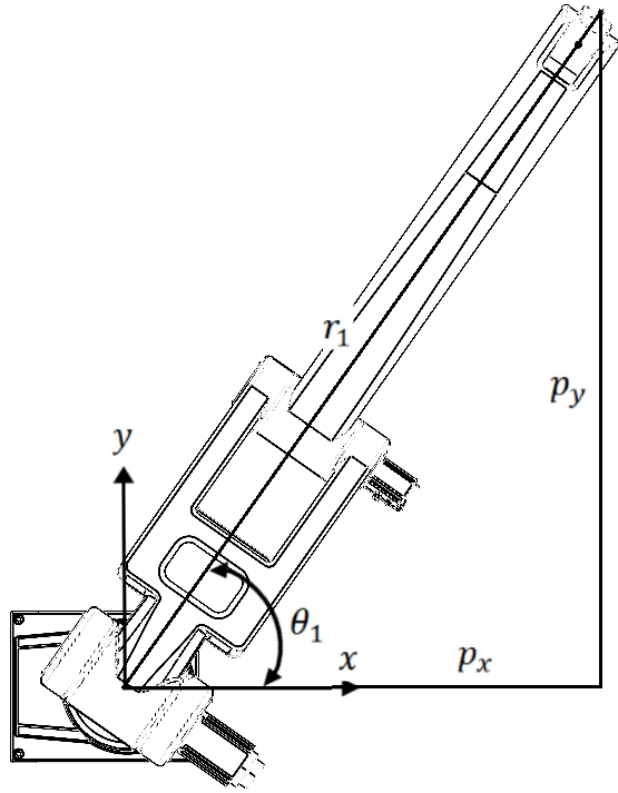
bulunur.

3.3. Ters Kinematik

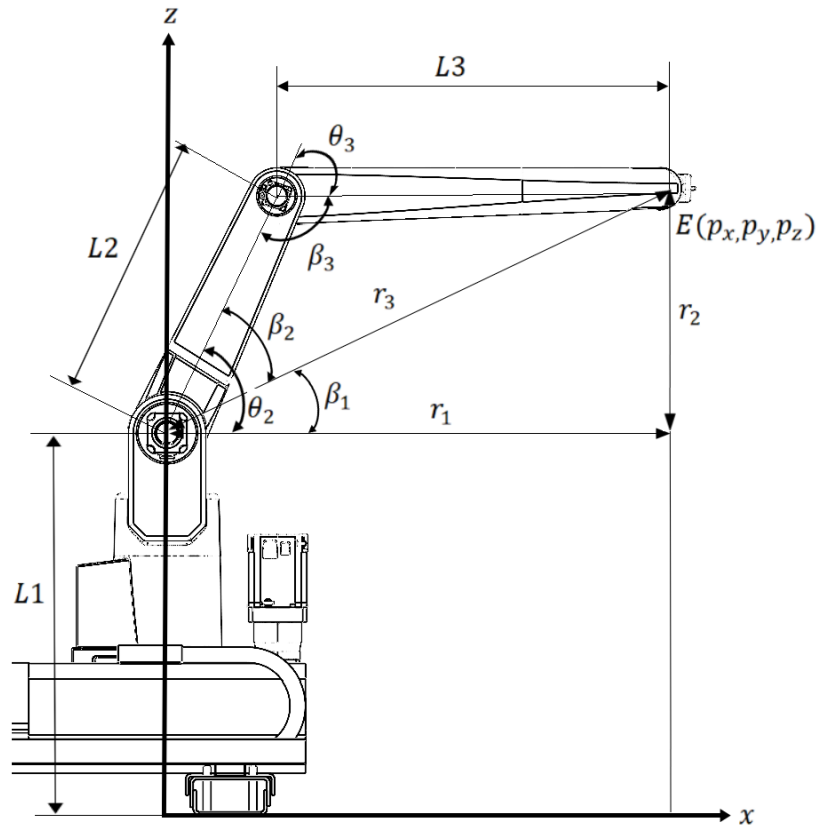
Bu tez kapsamında 6 eksen seri manipülatörün geri kinematiği geometrik ve analitik olarak iki farklı şekilde çözülecektir.

3.3.1. Ters Kinematik Geometrik Çözüm

Altı eksenli seri manipülatörün geometrik şekilleri Şekil 3.9'da üstten Şekil 3.10'da yandan görünümleri verilmiştir.



Şekil 3.9: Geometrik yapıdaki robot kolun üst görünümü.



Şekil 3.10: Geometrik yapıdaki robot kolun yan görünümü.

Şekil 3.9'dan;

$$\tan \theta_1 = \frac{p_y}{p_x} \quad (3.11)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{p_y}{p_x} \quad (3.12)$$

$$r_1 = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (3.13)$$

Şekil 3.10'dan;

$$r_2 = p_z - L_1 \quad (3.14)$$

$$r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} \quad (3.15)$$

$$\theta_2 = \beta_1 + \beta_2 \quad (3.16)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{r_2}{r_1} \quad (3.17)$$

$$\beta_1 = \tan^{-1} \frac{r_2}{r_1} \quad (3.18)$$

Kosinüs teoreminden;

$$L_3^2 = L_2^2 + r_3^2 - 2(L_2 r_3 \cos \beta_2) \quad (3.19)$$

$$2(L_2 r_3 \cos \beta_2) = L_2^2 + r_3^2 - L_3^2 \quad (3.20)$$

$$\cos \beta_2 = \left(\frac{L_2^2 + r_3^2 - L_3^2}{2L_2 r_3} \right) \quad (3.21)$$

$$\beta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + r_3^2 - L_3^2}{2L_2r_3} \right) \quad (3.22)$$

Eşitlik (3.18) ve eşitlik (3.22) (3.16) eşitliğinde yerine yazılırsa θ_2 açısı;

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{r_2}{r_1} + \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + r_3^2 - L_3^2}{2L_2r_3} \right) \quad (3.23)$$

Kosinüs teoreminden;

$$r_3^2 = L_2^2 + r_3^2 - 2(L_2L_3 \cos \beta_3) \quad (3.24)$$

$$2(L_2L_3 \cos \beta_3) = L_2^2 + L_3^2 - r_3^2 \quad (3.25)$$

$$\cos \beta_3 = \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - r_3^2}{2L_2L_3} \right) \quad (3.26)$$

$$\beta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - r_3^2}{2L_2L_3} \right) \quad (3.27)$$

Şekil 3.10'dan;

$$\theta_3 = 180 - \beta_3 \quad (3.28)$$

Eşitlik (3.27) (3.28) eşitliğinde yerine yazılırsa θ_3 açısı;

$$\theta_3 = 180 - \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - r_3^2}{2L_2L_3} \right) \quad (3.29)$$

bulunur.

3.3.2. Ters Kinematik Analitik Çözüm

Ters kinematik analitik çözüm için gerekli olan (3.7) eşitliğinin her iki tarafını 0_1T dönüşüm matrisinin tersi ile çarpalım;

$$[{}^0_1T]^{-1} {}^0_6T = [{}^0_1T]^{-1} {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (3.30)$$

Buradan (3.30) eşitliği aşağıdaki (3.31) eşitliğini verir.

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cos\theta_1 p_x + \sin\theta_1 p_y \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cos\theta_1 p_y - \sin\theta_1 p_x \\ \cdot & \cdot & \cdot & p_z - L1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & L2\cos\theta_2 + L3\cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & L2\sin\theta_2 + L3\cos\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_3\sin\theta_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

(3.31) eşitliğinin her iki tarafındaki dördüncü sütun ikinci satırı birbirini eşitlersek;

$$\cos\theta_1 p_y - \sin\theta_1 p_x = 0 \quad (3.32)$$

olur.

(3.32) eşitliğini çözmek için (3.33) ile verilen trigonometrik eşitlikten yararlanılır (Bingül ve Küçük 2005).

$a\sin\theta + b\cos\theta = 0$ verilirse;

$$\theta = \text{Atan2}(-b, a) \text{ veya } \theta = \text{Atan2}(b, -a) \quad (3.33)$$

olur.

Buradan (3.32) eşitliğindeki $a = -p_x$ ve $b = p_y$ ile ifade edilir. (3.32) eşitliğinde verilen denklem (3.33) ile verilen eşitliğe göre çözümü yapılırsa;

$$\theta_1 = \text{Atan2}(-p_y, -p_x) \text{ veya } \theta_1 = \text{Atan2}(p_y, p_x) \quad (3.34)$$

bulunur.

θ_2 ve θ_3 açılarını hesaplamak için (3.31) eşitliğinin her iki tarafındaki dördüncü sütun ile birinci satırı ve dördüncü sütun ile üçüncü satırı birbirini eşitlersek;

$$\cos\theta_1 p_x + \sin\theta_1 p_y = L2\cos\theta_2 + L3\cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3 \quad (3.35)$$

$$p_z - L1 = L2\sin\theta_2 + L3\cos\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_3\sin\theta_2 \quad (3.36)$$

(3.35) eşitliği düzenlenirse;

$$L3\cos(\theta_2 + \theta_3) + L2\cos\theta_2 = \cos\theta_1 p_x + \sin\theta_1 p_y \quad (3.37)$$

(3.36) eşitliği düzenlenirse;

$$L3\sin(\theta_2 + \theta_3) + L2\sin\theta_2 = p_z - L1 \quad (3.38)$$

bulunur.

(3.37) ve (3.38) eşitliklerini çözmek için (3.41) ve (3.42) ile verilen trigonometrik eşitlikten yararlanılır (Bingül ve Küçük 2005).

$$a\cos(\theta_i + \theta_j) + b\cos\theta_i = c \quad (3.39)$$

$$a\sin(\theta_i + \theta_j) + b\sin\theta_i = d \quad (3.40)$$

$$\theta_j = \text{Atan2}(\sin\theta_j, \cos\theta_j) \quad (3.41)$$

$$\theta_i = \text{Atan2}(rd - sc, rc + sd) \quad (3.42)$$

$$\cos\theta_j = \frac{c^2 + d^2 - a^2 - b^2}{2ab} \quad (3.43)$$

$$\sin\theta_j = \sqrt{1 - \cos^2\theta_j} \quad (3.44)$$

$$r = a\cos\theta_j + b \quad (3.45)$$

$$s = a\sin\theta_j \quad (3.46)$$

Buradan (3.37) ve (3.38) eşitliğindeki $c = \cos\theta_1 p_x + \sin\theta_1 p_y$, $d = p_z - L1$, $a = L3$ ve $b = L2$ ile ifade edilir. (3.37) ve (3.38) eşitliklerinde verilen denklemler (3.43) ve (3.44) ile verilen eşitliklere göre çözümü yapılırsa;

$$\cos\theta_j = \frac{(\cos\theta_1 p_x + \sin\theta_1 p_y)^2 + (p_z - L1)^2 - L3^2 + L2^2}{2L3L2} \quad (3.47)$$

$$\sin\theta_j = \sqrt{1 - \cos^2\theta_j} \quad (3.48)$$

$$r = L3\cos\theta_j + L2 \quad (3.49)$$

$$s = L3\sin\theta_j \quad (3.50)$$

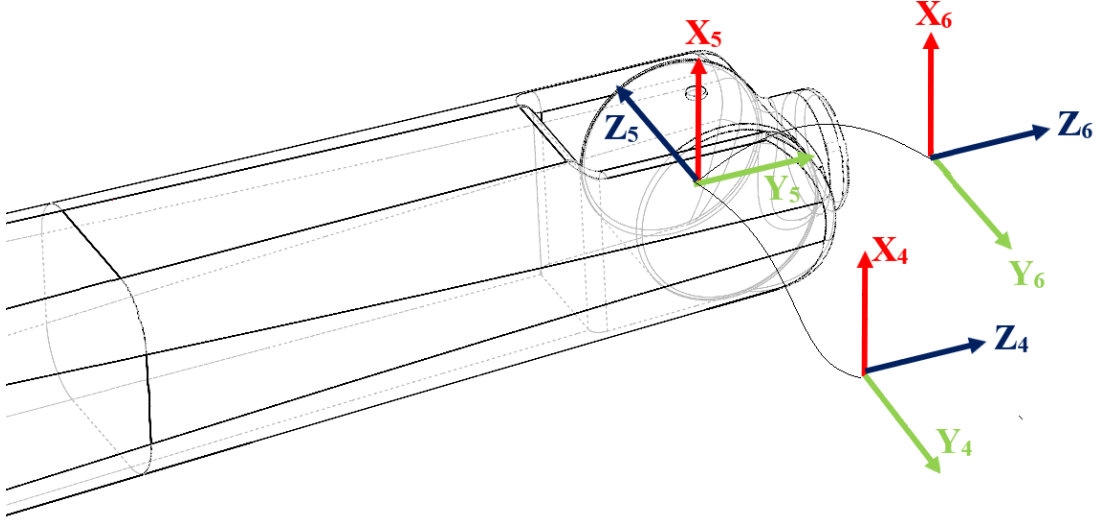
$$\theta_2 = \text{Atan2}(rd - sc, rc + sd) \quad (3.51)$$

$$\theta_3 = \text{Atan2}(\sin\theta_j, \cos\theta_j) \quad (3.52)$$

bulunur.

Tasarlanan robot kolun uç eklemi Euler eklemi olduğundan Euler eklem açıları olan θ_4 , θ_5 ve θ_6 açılarını hesaplamak için Şekil 3.11'de gösterilen robotun Euler

dönme eksenlerine uygun olan (3.53) eşitliğinde verilen ZYZ Euler açı setine göre hesabı yapılacaktır. Burada α θ_4 açısını, β θ_5 açısını ve γ θ_6 açısını ifade etmektedir.



Şekil 3.11: Euler dönme eksenleri.

$$R_{ZYZ}(\gamma, \beta, \alpha) = R_Z(\alpha) R_Y(\beta) R_Z(\gamma) \quad (3.53)$$

$$R_{ZYZ} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Euler açı eksen seti dördüncü eklemin altıncı ekleme göre dönmesi ile belirtilir. Buna göre eşitlik (3.54) düzenlenirse (3.55) eşitliği elde edilir.

$${}^4_6R = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta\cos\gamma - \sin\alpha\sin\gamma & -\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma - \sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha\cos\beta\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma & -\sin\alpha\cos\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta \\ -\sin\beta\cos\gamma & \sin\beta\sin\gamma & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

Euler açılarını hesaplamak için kinematik ayrıştırma yapılması gerekir;

$${}^0_6R = {}^0_4R {}^4_6R \quad (3.56)$$

$$[{}^0_4R]^{-1} {}^0_6R = [{}^0_4R]^{-1} {}^0_4R {}^4_6R \quad (3.57)$$

Matrisin kendisinin tersi ile çarpılması birim matris olduğundan;

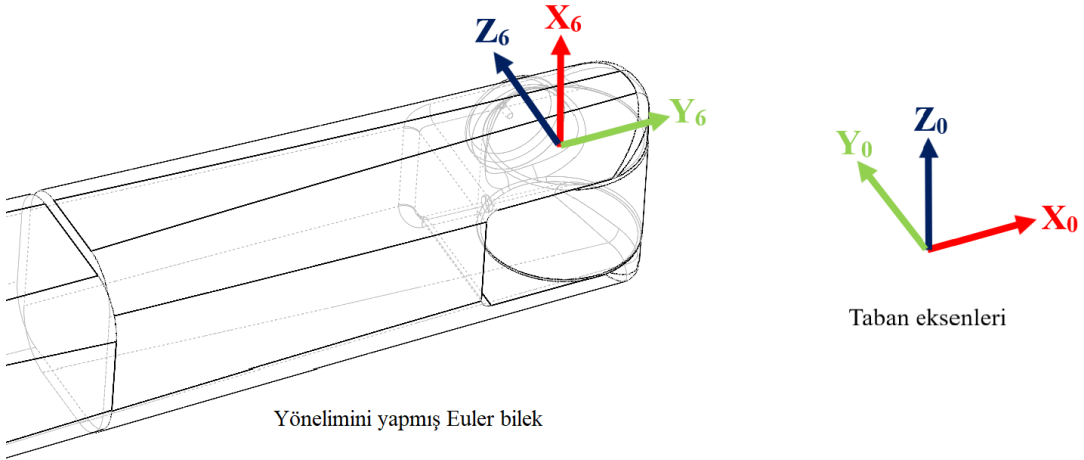
$${}^4_6R = [{}^0_4R]^{-1} {}^0_6R \quad (3.58)$$

olur.

Burada 0_4R dördüncü eklem tabana göre dönmesini belirtir ve (3.59) eşitliğindeki gibi ifade edilir;

$${}^0_4T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T \quad (3.59)$$

0_6R dönme matrisi uç noktanın tabana göre yönelimidir. Euler bileğin Şekil 3.2’de gösterilen sac paneli uygun bir yönelim açıları ile puntalaması için başlangıç pozisyonuna göre Şekil 3.12’de gösterildiği gibi dönme yapması gerekir.



Şekil 3.12: Euler yönelim eksenleri.

Şekil 3.12’de verilen Euler yönelim eksenleri robotun tabanına göre dönme matrisi (2.3) eşitliğinde verildiği gibi ifade edilirse;

$${}^0R_6 = \begin{bmatrix} |X_6||X_0|\cos 90 & |Y_6||X_0|\cos 0 & |Z_6||X_0|\cos 90 \\ |X_6||Y_0|\cos 90 & |Y_6||Y_0|\cos 90 & |Z_6||Y_0|\cos 0 \\ |X_6||Z_0|\cos 0 & |Y_6||Z_0|\cos 90 & |Z_6||Z_0|\cos 90 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

buradan;

$${}^0R_6 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

elde edilir.

(3.55) ve (3.61) eşitlikleri (3.58) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dots & \dots & \cos\alpha\sin\beta \\ \dots & \dots & \sin\alpha\sin\beta \\ -\sin\beta\cos\gamma & \sin\beta\sin\gamma & \cos\beta \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \\ &= [{}^0R_4]^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.62)$$

elde edilir.

Buradan;

$$\frac{\sin\alpha\sin\beta}{\cos\alpha\sin\beta} = \frac{r_{23}}{r_{13}} \quad (3.63)$$

$$\tan\alpha = \frac{r_{23}}{r_{13}} \quad (3.64)$$

$$\alpha = \theta_4 = \text{Atan2}(r_{23}, r_{13}) \quad (3.65)$$

$$\frac{\sin\beta\sin\gamma}{-\sin\beta\cos\gamma} = \frac{r_{32}}{r_{31}} \quad (3.66)$$

$$\tan\gamma = \frac{r_{32}}{-r_{31}} \quad (3.67)$$

$$\gamma = \theta_6 = \text{Atan2}(r_{32}, -r_{31}) \quad (3.68)$$

$$\cos^2\beta + \sin^2\beta = 1 \quad (3.69)$$

$$\sin^2 \beta = 1 - \cos^2 \beta \quad (3.70)$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \quad (3.71)$$

$$\tan \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \quad (3.72)$$

(3.71) eşitliği (3.72) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$\tan \beta = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \beta}}{\cos \beta} \quad (3.73)$$

$$\beta = \text{Atan2} \left(\sqrt{1 - \cos^2 \beta}, \cos \beta \right) \quad (3.74)$$

(3.62) eşitliğinde $\cos \beta = r_{33}$ olduğu için;

$$\beta = \theta_5 = \text{Atan2}(\sqrt{1 - r_{33}^2}, r_{33}) \quad (3.75)$$

bulunur.

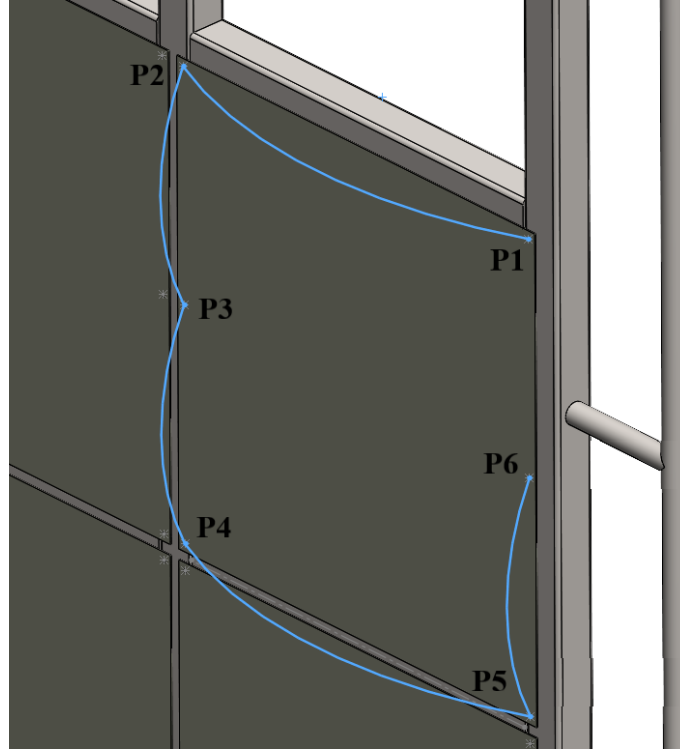
3.4. Yörünge Planlaması

Robot kaynak telinin belirlenen punta noktalarına hangi yolu izleyerek gitmesi gerektiğinin belirlenmesi ve bu yolu takip ederek robot kolunun konum, hız ve ivme değerlerinin bulunması gerekir.

Başlangıç hızı sıfır olan uç işlevcinin üçüncü dereceden yörünge polinom konum denklemi (3.76) eşitliğindeki gibidir. Eşitlikteki $\theta(0)$ başlangıç konumu, $\theta(f)$ bitiş konumu t_f zaman sabiti ve t ise zaman periyotudur. Bu eşitlik bir derece türev alınırsa hız denklemi, iki derece türev alınırsa ivme denklemi çıkarılmış olur (Bingül ve Küçük 2005).

$$\theta = \theta_{(0)} + \frac{3(\theta(f) - \theta(0))t^2}{t_f^2} - \frac{2(\theta(f) - \theta(0))t^3}{t_f^3} \quad (3.76)$$

Şekil 3.13’de tramvayın yan sac paneli ve robotun bu sac paneli punta kaynağı yaparken izlediği yol gösterilmiştir. Üçüncü dereceden polinom denklemleri kullanılarak bu yolun eklem uzayında yörünge hareket planlaması yapılacaktır.



Şekil 3.13: Kaynak punta yolu.

Tablo 3.2’de Şekil 3.13’de verilen punta noktalarının konumları ve bu noktalarda ters kinematik hesaplamaları sonucu çıkan eklem açıları verilmiştir. Bu açılara göre yörünge denklemi oluşturulup eklemlerin konum, hız ve ivme değerleri hesaplanacaktır.

Tablo 3.2: Şekil 3.13 punta noktaları ve eklem açıları.

Punta	p_x	p_y	p_z	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
P1	467.5	999	1247.5	64.9219	78.803	120.1834	-55.192	-148.921	-50.9321
P2	52.5	999	1247.5	86.9917	85.0037	127.1801	-5.6348	-147.691	-4.7668
P3	52.5	999	1025	86.9917	71.0367	125.6334	-10.3814	-163.068	-9.9406
P4	52.5	999	802.5	86.9917	55.4418	120.9491	-140.144	-175.303	-140.239
P5	467.5	999	802.5	64.9219	52.0105	114.376	-116.701	-151.677	-119.742
P6	467.5	999	1025	64.9219	66.1838	118.7536	-79.5789	-154.471	-78.4802

Birinci eklem punta1 ve punta2 arası ($\theta(0) = 64.9219$, $\theta(f) = 86.9917$, $t_f = 2$ s)

Konum denklemi;

$$\theta_1(12) = 64.9219 + \frac{3(86.9917 - 64.9219)t^2}{2^2} - \frac{2(86.9917 - 64.9219)t^3}{2^3}$$
$$\theta_1(12) = 64.9219 + 16.552t^2 - 5.517t^3 \quad (3.77)$$

Hız denklemi;

$$\dot{\theta}_1(12) = 33.104t - 16.551t^2 \quad (3.78)$$

İvme denklemi;

$$\ddot{\theta}_1(12) = 33.104 - 16.551t \quad (3.79)$$

Birinci eklem punta2 ve punta3 arası ($\theta(0) = 86.9917$, $\theta(f) = 86.9917$, $t_f = 2$ s)

Konum denklemi;

$$\theta_1(23) = 86.9917 + \frac{3(86.9917 - 86.9917)t^2}{2^2} - \frac{2(86.9917 - 86.9917)t^3}{2^3}$$
$$\theta_1(23) = 86.9917 \quad (3.80)$$

Hız denklemi;

$$\dot{\theta}_1(23) = 0 \quad (3.81)$$

İvme denklemi;

$$\ddot{\theta}_1(23) = 0 \quad (3.82)$$

Birinci eklem punta3 ve punta4 arası ($\theta(0) = 86.9917$, $\theta(f) = 86.9917$, $t_f = 2$ s)

Konum denklemi;

$$\theta_1(34) = 86.9917 + \frac{3(86.9917 - 86.9917)t^2}{2^2} - \frac{2(86.9917 - 86.9917)t^3}{2^3}$$

$$\theta_1(34) = 86.9917 \quad (3.83)$$

Hız denklemi;

$$\dot{\theta}_1(34) = 0 \quad (3.83)$$

İvme denklemi;

$$\ddot{\theta}_1(34) = 0 \quad (3.84)$$

Birinci eklem punta4 ve punta5 arası ($\theta(0) = 86.9917$, $\theta(f) = 64.9219$, $t_f = 2$ s)

Konum denklemi;

$$\theta_1(45) = 86.9917 + \frac{3(64.9219 - 86.9917)t^2}{2^2} - \frac{2(64.9219 - 86.9917)t^3}{2^3}$$

$$\theta_1(45) = 86.9917 - 16.552t^2 + 5.517t^3 \quad (3.85)$$

Hız denklemi;

$$\dot{\theta}_1(45) = -33.104t + 16.551t^2 \quad (3.86)$$

İvme denklemi;

$$\ddot{\theta}_1(45) = -33.104 + 16.551t \quad (3.87)$$

Birinci eklem punta5 ve punta6 arası ($\theta(0) = 64.9219$, $\theta(f) = 64.9219$, $t_f = 2$ s)

Konum denklemi;

$$\theta_1(56) = 64.9219 + \frac{3(64.9219 - 64.9219)t^2}{2^2} - \frac{2(64.9219 - 64.9219)t^3}{2^3}$$

$$\theta_1(56) = 64.9219 \quad (3.88)$$

Hız denklemi;

$$\dot{\theta}_1(56) = 0 \quad (3.89)$$

İvme denklemi;

$$\ddot{\theta}_1(56) = 0 \quad (3.90)$$

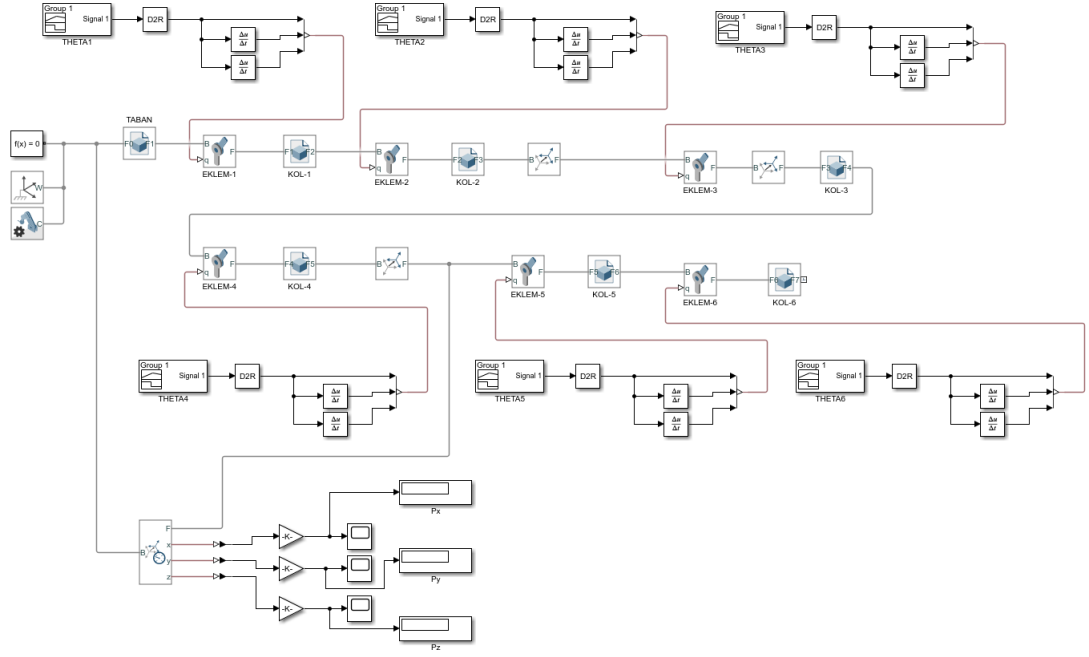
Buraya kadar birinci eklemin hız, zaman ve ivme denklemleri çıkarılmıştır. Diğer beş eklemin denklemleri EK B'deki Matlab kodunda verilmiştir.

3.5. Matlab ile Matematiksel Modelleme

Tasarlanan altı eksen seri robot kolun ileri ve geri kinematik denklemleri önceki konularda çıkarılmıştır. Elde edilen ileri ve ters kinematik denklemlerinin sonuçlarının elde edilebilmesi için Matlab programından istifade edilmiştir. Ters kinematik için EK B'de verilen Matlab kodu yazılmış, EK C'de ise ileri kinematik için yazılan kodlar verilmiştir.

3.6. Matlab ile Simülasyon Modelleme

Robot kolun hesaplanan eklem açlarına göre kol açılarının kontrolü ve uç işlevcinin punta noktasına gidiş kontrolünün sağlanıp üç boyutlu simülasyon olarak görülebilmesi için Matlab Simulink ortamında Şekil 3.14'de görüldüğü gibi blok diyagramlardan simülasyon modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3.14: Robot kol simülasyon modeli.

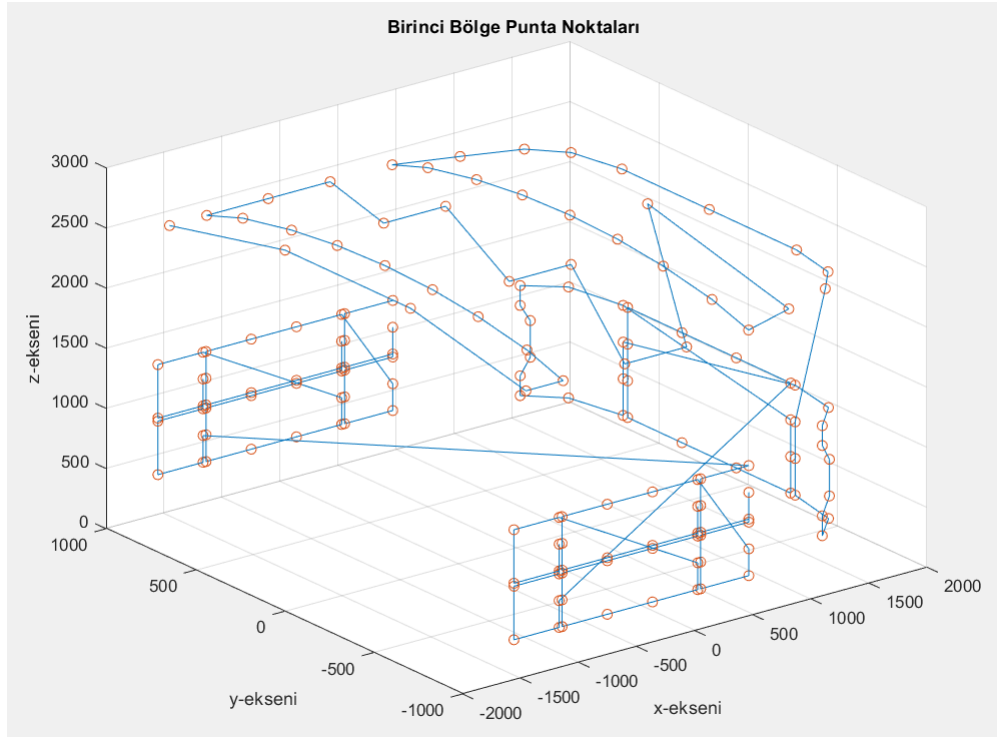
Robot kolun her bir manipulatörüne body tanımlanmıştır. Manipulatörlerin eklem noktalarına uygun eksen takımları yerleştirilmiş ve ters kinematikten elde edilen açı parametreleri sinyal girişi olarak verilmiştir. Uç işlevci den display bağlantısı alınarak robotun konum kontrolü yapılabilmektedir.

4.BULGULAR

Öncelikle Solidworks programında robotik sistem ve tramvay modellenmiştir. Daha sonra tramvayın sac panellerinde punta yapılacak olan noktaların koordinatları belirlenmiştir. Robotun ileri ve ters kinematik hesaplamaları yapılarak yörünge planlaması için gerekli olan eklem açılarının tablosu çıkarılmıştır. En son Matlab Simulink programında robotun simülasyon modeli yapılarak animasyonda çalıştığı görülmüştür.

4.1. Punta Konum Grafikleri

İleri ve ters kinematik analizlerin yapılabilmesi için gerekli olan punta kaynak noktaları belirtilmesi gerekir. Tasarlanan robot kol punta kaynak yapması için iki referans nokta verilerek birinci bölge ve ikinci bölge olarak çalışması gerektiği daha önce belirtilmişti. Şekil 4.1’de birinci bölgenin punta yapılacak kaynak noktaları gösterilmiştir.



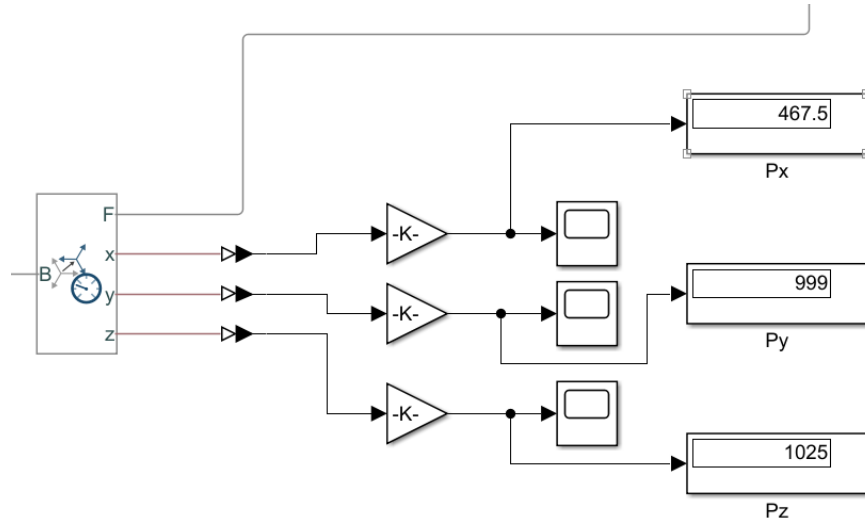
Şekil 4.1: Birinci bölge punta noktaları.

4.2. Robot Kolun Simülasyonu

Punta kaynak yörüngesine göre robotun simülasyonu yapılmıştır (bkz. Şekil 3.13). Kaynak robotu P6 numaralı punta noktasına punta atarken robotun simülasyon modeli Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir ve Şekil 4.3’deki simülasyon modelindeki konum çıktısına bakıldığında P6 noktası için verilen konum koordinatları ile simülasyondan elde edilen konum koordinatlarının birbirinin aynısı olduğu Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.2: Robot kolun P6 noktasındaki simülasyon modeli.



Punta	p_x	p_y	p_z	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
P1	467.5	999	1247.5	64.9219	78.803	120.1834	-55.192	-148.921	-50.9321
P2	52.5	999	1247.5	86.9917	85.0037	127.1801	-5.6348	-147.691	-4.7668
P3	52.5	999	1025	86.9917	71.0367	125.6334	-10.3814	-163.068	-9.9406
P4	52.5	999	802.5	86.9917	55.4418	120.9491	-140.144	-175.303	-140.239
P5	467.5	999	802.5	64.9219	52.0105	114.376	-116.701	-151.677	-119.742
P6	467.5	999	1025	64.9219	66.1838	118.7536	-79.5789	-154.471	-78.4802

Şekil 4.3: Robot kolun P6 noktasındaki konum parametreleri.

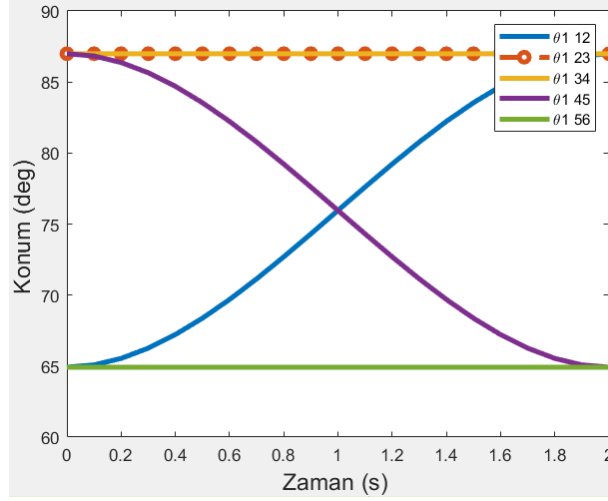
3. bölümde bulunan ters kinematik denklemler EK B’de verilen Matlab kodu ile modellenerek hangi punta noktasında hangi eklem açılarının ne olması gerektiği bulunmuştur. Birinci bölgede 160 adet punta kaynak noktası vardır ve bu 160 noktadaki eklem açıları EK C’deki tabloda verilmiştir.

4.3. Yörünge Hareket Analizi

4.3.1. Konum Analizi

Kaynak telinin yörüngedeki punta kaynağını yaparken puntalar arası ilerleme hızı yörünge denklemlerinde iki saniye olarak verilmiş, yapılan hareket analizi sonucunda robot kolunun bu yörüngede ilerlerken eklemlerin açısı, konum ve ivme değerlerinin ne olması gerektiği bulunmuştur (bkz. Şekil 3.13).

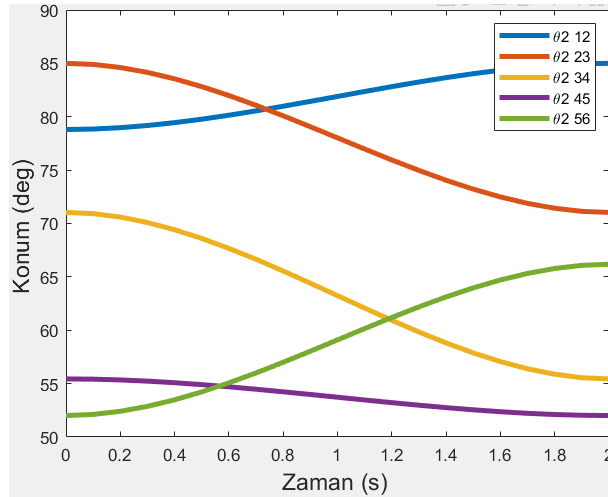
Şekil 4.4’de θ_1 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.4: θ_1 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_1 açısının Tablo 3.10'daki değerlere göre kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu görülmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık 65° 'den 87° 'ye kadar yer değiştirdiği, P2, P3 ve P3, P4 arası konumun sabit kaldığı, P4 ve P5 arası açının yaklaşık kaldığı yer olan 87° 'den 65° 'ye kadar yer değiştirdiği, son olarak P5 ve P6 arası konumun 65° 'de sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.5'de θ_2 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri görülmektedir.

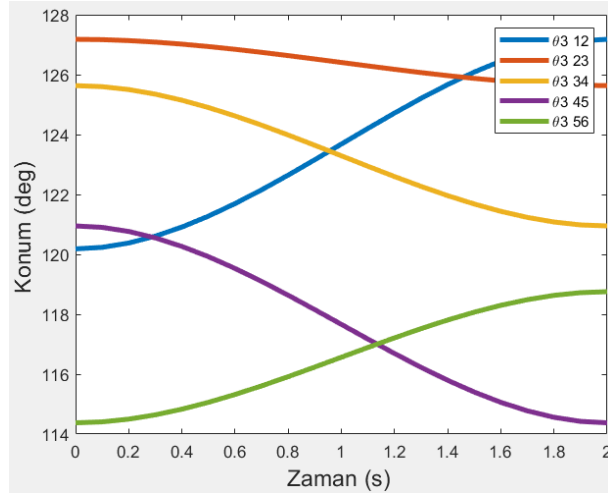


Şekil 4.5: θ_2 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_2 açısının Tablo 3.10'daki değerlere göre kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu görülmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık 79° 'den 85° 'ye kadar, P2 ve P3 arası yaklaşık 85° 'den 71° 'ye kadar, P3 ve P4 arası yaklaşık 71° 'den 55° 'ye kadar, P4 ve

P5 arası yaklaşık 55° 'den 52° 'ye kadar, P5 ve P6 arası yaklaşık 52° 'den 66° 'ye kadar yer değiştirdiği görülmektedir.

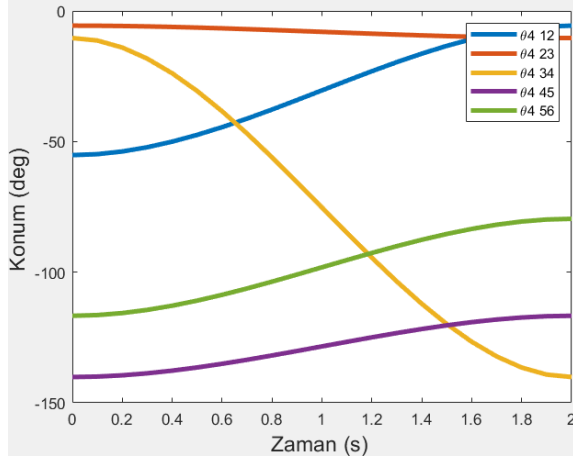
Şekil 4.6'da θ_3 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.6: θ_3 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_3 açısının Tablo 3.10'daki değerlere göre kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu görülmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık 120° 'den 127° 'ye kadar, P2 ve P3 arası yaklaşık 127° 'den 125° 'ye kadar, P3 ve P4 arası yaklaşık 125° 'den 121° 'ye kadar, P4 ve P5 arası yaklaşık 121° 'den 114° 'ye kadar, P5 ve P6 arası yaklaşık 114° 'den 119° 'ye kadar yer değiştirdiği görülmektedir.

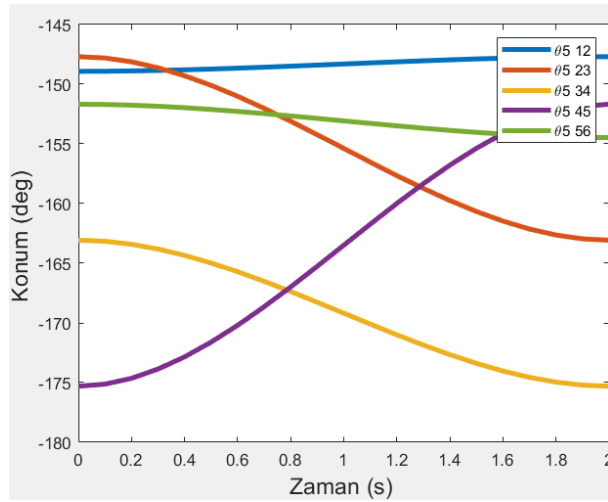
Şekil 4.7'de θ_4 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.7: θ_4 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_4 açısının Tablo 3.10'daki değerlere göre kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu görülmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık -55° 'den -5° 'ye kadar, P2 ve P3 arası yaklaşık -5° 'den -10° 'ye kadar, P3 ve P4 arası yaklaşık -10° 'den -140° 'ye kadar, P4 ve P5 arası yaklaşık -140° 'den -117° 'ye kadar, P5 ve P6 arası yaklaşık -117° 'den -179° 'ye kadar yer değiştirdiği görülmektedir.

Şekil 4.8'de θ_5 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri görülmektedir.

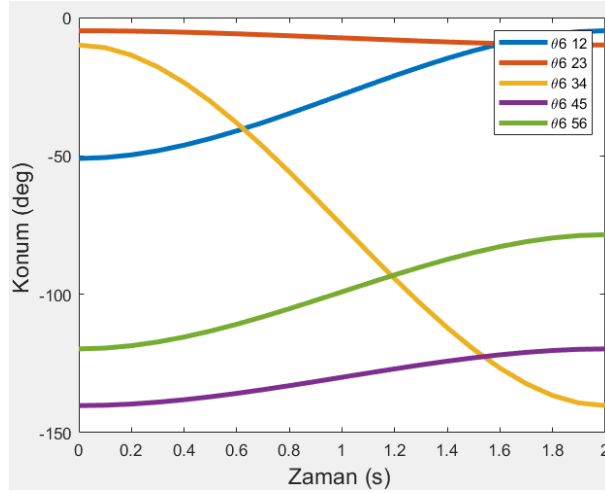


Şekil 4.8: θ_5 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_5 açısının Tablo 3.10'daki değerlere göre kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu görülmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık -149° 'den -148° 'ye kadar, P2 ve P3 arası yaklaşık -148° 'den -163° 'ye kadar, P3 ve P4 arası yaklaşık -163° 'den -175° 'ye

kadar, P4 ve P5 arası yaklaşık -175° 'den -152° 'ye kadar, P5 ve P6 arası yaklaşık -152° 'den -154° 'ye kadar yer değiştirdiği gorlmektedir.

şekil 4.9'da θ_6 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki konum değişimleri gorlmektedir.

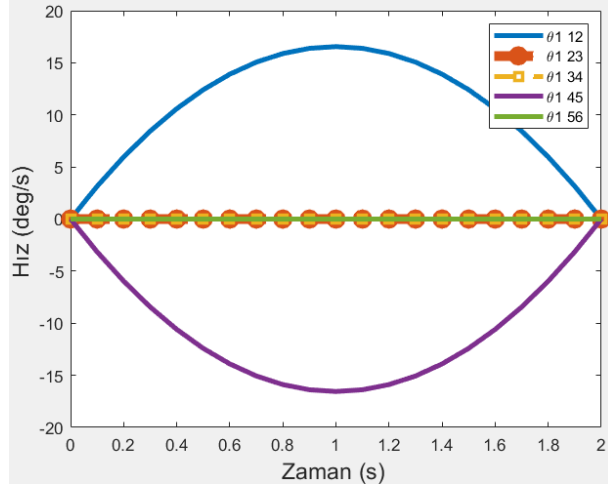


şekil 4.9: θ_6 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_6 açısının Tablo 3.10'daki değerlere gore kıyaslandığında sonuçların doğru olduğu gorlmektedir. P1 ve P2 arası yaklaşık -51° 'den -5° 'ye kadar, P2 ve P3 arası yaklaşık -5° 'den -10° 'ye kadar, P3 ve P4 arası yaklaşık -10° 'den -140° 'ye kadar, P4 ve P5 arası yaklaşık -140° 'den -120° 'ye kadar, P5 ve P6 arası yaklaşık -120° 'den -78° 'ye kadar yer değiştirdiği gorlmektedir.

4.3.2. Hız Analizi

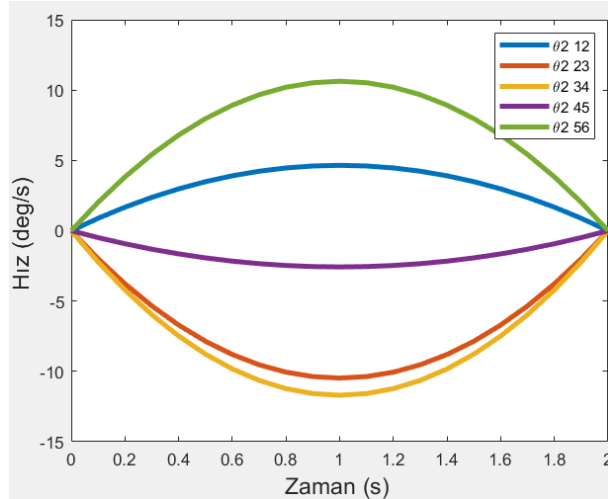
şekil 4.10'da θ_1 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri gorlmektedir.



Şekil 4.10: θ_1 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_1 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir. P2 ile P3, P3 ile P4 ve P5 ile P6 arasında θ_1 açısı yer değiştirmedeği için bu aralarda hızı sıfır olarak çıkmıştır.

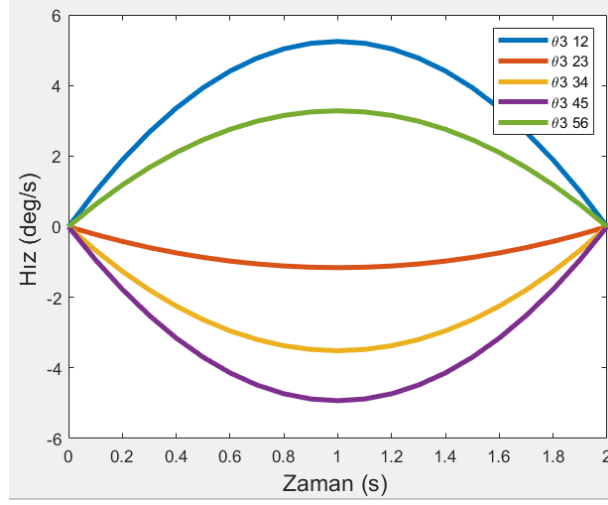
Şekil 4.11'de θ_2 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.11: θ_2 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_2 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir.

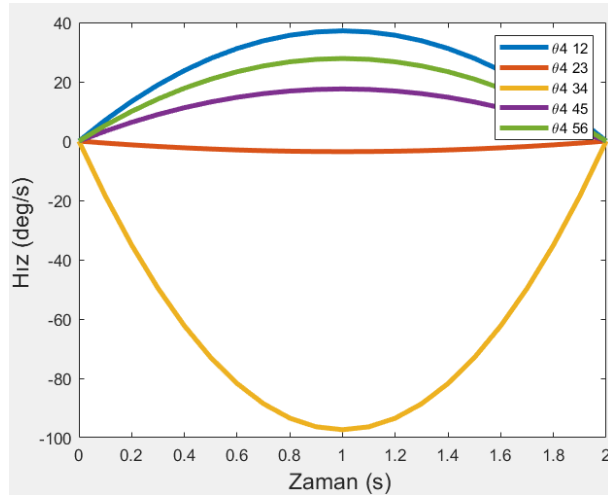
Şekil 4.12’de θ_3 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.12: θ_3 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_3 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir.

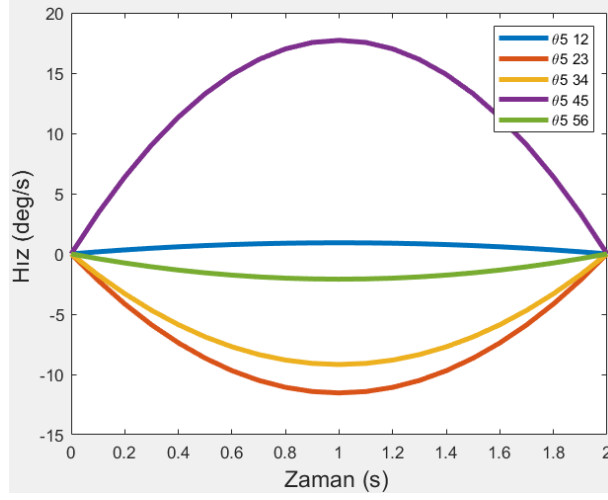
Şekil 4.13’de θ_4 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.13: θ_4 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_4 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir.

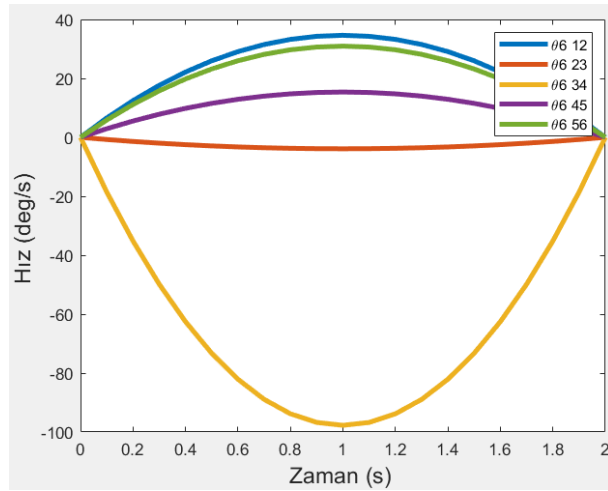
Şekil 4.14'de θ_5 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.14: θ_5 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_5 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir.

Şekil 4.15'de θ_6 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki hız değişimleri görülmektedir.

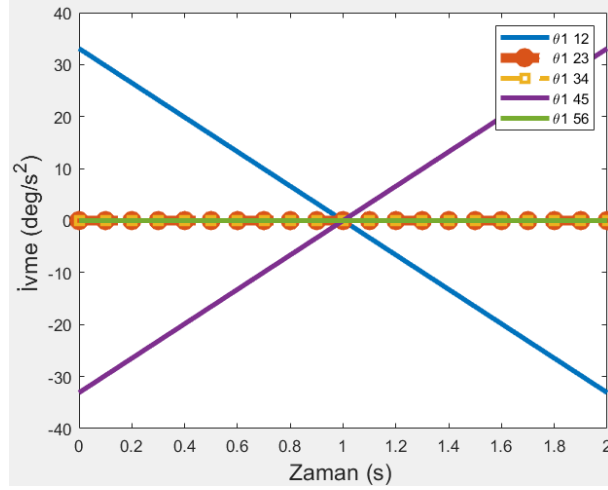


Şekil 4.15: θ_6 hızının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_6 eklem hızının $t = 0$ ve $t = 2$ zamanlarında yani punta noktalarında hızının sıfır olduğu, iki punta noktasının orta konumunda hızının maksimum olduğu, hareketin ilk yarısında artan bir hızla, son yarısında azalan bir hızla ilerlediği görülmektedir.

4.3.3. İvme Analizi

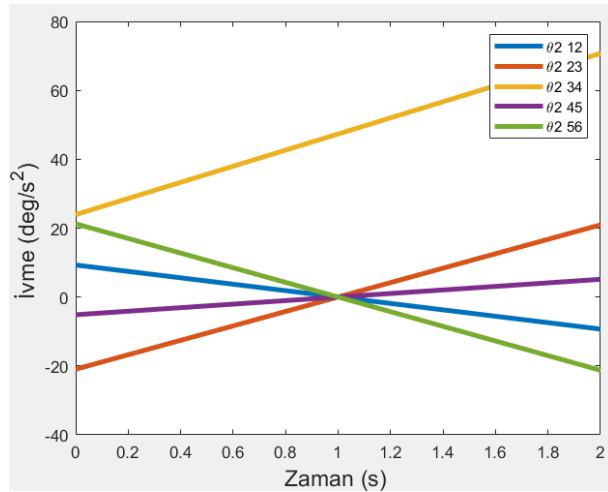
Şekil 4.16'da θ_1 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.16: θ_1 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_1 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. P2 ile P3, P3 ile P4 ve P5 ile P6 arasında θ_1 açısı yer değiştirmede için bu aralarda ivme sıfır olarak çıkmıştır. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

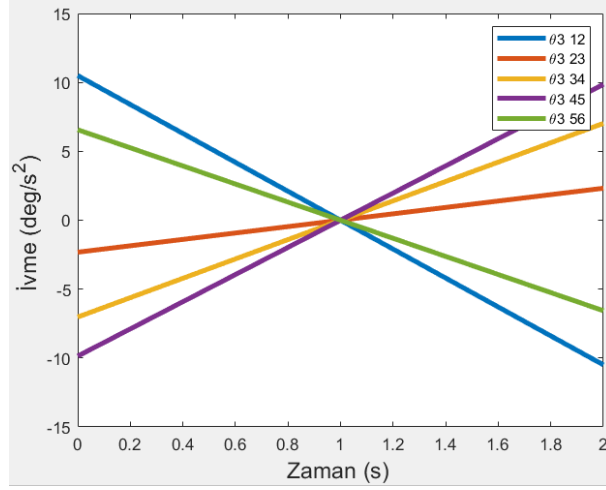
Şekil 4.17'de θ_2 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.17: θ_2 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_2 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

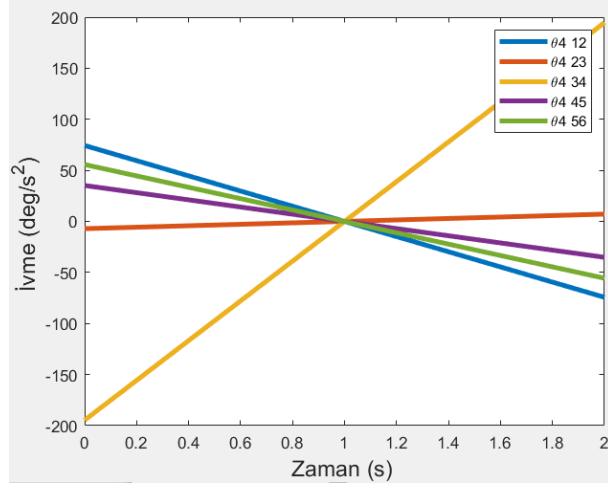
Şekil 4.18’de θ_3 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.18: θ_3 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_3 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

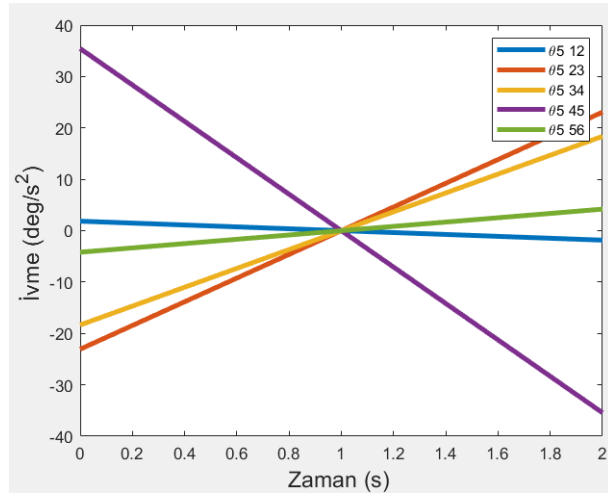
Şekil 4.19’da θ_4 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.19: θ_4 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_4 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

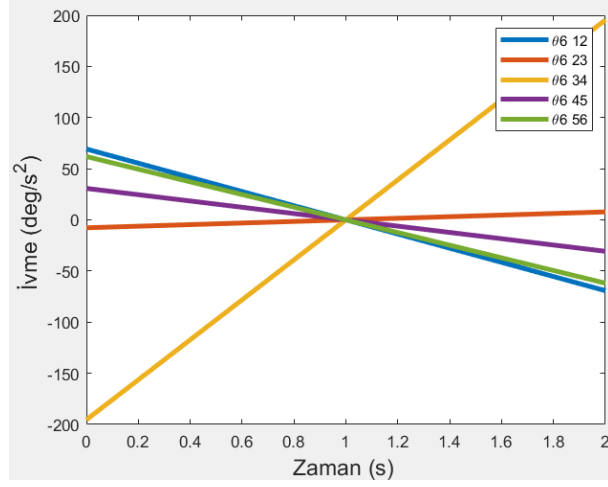
Şekil 4.20'de θ_5 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.20: θ_5 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_5 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

Şekil 4.21’de θ_6 açısının P1 ve P6 punta noktaları arasındaki ivme değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.21: θ_6 ivmesinin P1 ve P6 punta noktaları arasındaki değişimi.

θ_6 eklem ivme grafiğini hız grafiğine göre karşılaştırdığımızda ters orantılı olarak çalıştığı görülmektedir. Hızın maksimum olduğu yerde ivme sıfır, minimum olduğu yerde ise ivme maksimumdur. Dolayısıyla eklem hareketleri titreşimsiz bir şekilde çalışmasını sürdürmektedir.

Yörünge planlamasına göre eklemler hareketlerini düzgün bir şekilde tamamladığı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez kapsamında imalatı yapılan elektrikli nostaljik tramvayın dış panel saclarının punta kaynağı için altı eksenli Euler bilek yapısına sahip seri bir robot kolu tasarlanmıştır. Tasarlanan robot kolun hareket analizlerinin yapılabilmesi için ileri ve ters kinematik denklemleri çıkarılmış ve bu denklemlerden yararlanılarak robotun Matlab ortamında matematiksel modelleri yapılmıştır. Daha sonra robot eklemlerinin titreşimsiz ve sorunsuz bir şekilde hareketini tamamlayabilmesi için üçüncü dereceden polinom denklemleri kullanılarak yörünge planlaması yapılmıştır. Yörünge planlamasından elde edilen konum, hız ve ivme grafiklerine göre robot kolun hareketini sorunsuz bir şekilde tamamladığı görülmüştür. Son olarak robot kolun Matlab Simulink ortamında blok diyagram şeması oluşturulmuştur. Eklemlere girdi olarak ters kinematikten elde edilen açı değerleri grafiksel olarak tanımlanıp uç işlevcinin konum takibi yapılmıştır. Girilen açı değerlerine göre robot kolun simülasyonu yapılarak robotun çalışması sanal olarak görülebilmektedir. Konum, yönelim, hız, ivme parametreleri de eklem motorlarının dönme kontrolü için girdi parametreleri olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak robot kolun tasarımı, hareket analizleri ve yörünge analizleri yapılarak tamamlanmış olan bu çalışmada elde edilen parametrelere göre robot kolun prototip imalatı da yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

Adar, N. G., Ören, H. ve Kozan, N., “5 serbestlik dereceli robot kolunun modellenmesi ve kontrolü”, SAÜ. Fen Bil. Der., 17(1), 155-160, (2013).

Akpınar, Ö., “Depolama amaçlı görüntü işleme tabanlı bir kartezyen robot tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2008).

Alanoğlu, Z., “Altı eksen robot kol tasarımı ve raspberry pi tabanlı robot görme uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Anabilim Dalı, Hatay, (2017).

Alp, O.E., “Genel amaçlı robot kolu tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2012).

Aytepe, B., “Bilgisayarlı nümerik kontrol (cnc) robotların seramik ve grafik eğitiminde tasarım aracı olarak kullanımı”, Nevsehir University Journal of Social Sciences, 1, 239-253, (2011).

Bayrak, A., “Beş eksenli bir robot kolunun simülasyonu ve kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2007).

Bingül, Z. ve Küçük, S., Robot kinematiği, Kocaeli : Yazın basın yayın matbaacılık trz. tic. Ltd. şti, (2015).

Bozdemir, M. ve Adıgüzel, E., “Puma tipi robot ile insan kolu hareketlerinin karşılaştırılması; alternatif bir robot kol omuz tasarımı”, J. End. Sci., 5(2-3), 1057-1061, (1999).

Bruculeri, M., D’Onofrio, C. and La Commare, U., “Off-line Programming and simulation for automatic robot control software generation”, Industrial informatics, 5th IEEE interntional conferance, (2007).

Boztay, İ., “Gereğinden çok serbestlik dereceli yılanı bir robotun dizaynı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2007).

Çakar, O., “Endüstriyel tabanlı yeni bir robot kol tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, (2020).

Çay, S., “Gaz altı kaynağı yapabilen üç uzuvlu kartezyen robot kol tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, (2010).

Çırak, B., “İki eklemlili bir scara robot manipülatörünün hesaplanmış tork yöntemi ile yörünge kontrolü”, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (EÜFBED), 7(1), 77-91, (2014).

Çırak, B. ve Yörük, A., “Mekatronik Biliminin Öncüsü İsmail El-Cezeri”, Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (SUSBID), 4, 175-194, (2015).

Demirtaş, T. J., “tozaltı ve gazaltı kaynak yöntemlerinin kullanımı [online]”,(27 Aralık 2022), <https://muhendisgelisim.com/tozalti-ve-gazalti-kaynak-yontemlerinin-kullanimi/>, (2020).

Doğan, A., “Scara robot tasarımı, imalatı ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, (2019).

Eğilmez, M. M., “Kartezyen koordinatlı kaynak robotu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2005).

Ersöz, H., “Endüstriyel robotlar ve uygulama alanları”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, (2007).

Gündoğan, N., “Kaynak robotu tasarımı ve İmalatı”, Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, (2021).

Hamida, Y., “Endüstriyel amaçlı robot kol tasarımı ve üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2018).

Han, M., “Robotların tarihsel gelişimi, çeşitleri ve hayatımızdaki yerlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2011).

Havusoğlu, H., “Robot kol tasarımı, kinematik analizi ve etkileşimli kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2014).

Karaca, M.M., “Endüstriyel amaçlı küresel robot kolu ve tutucunun tasarımı ve kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin ERBAKAN Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2020).

Karataş, B., “Mafsallı robot tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, (2019).

Kayalıoğlu, F., “Doğrusal kaynak işleminin için mobil robot tasarımı ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).

Kazerooni, H., “Statically-balanced direct-drive robot arm.”, Mineapolis/Minn. United States Patent No. 4,775,289, (1988).

Kızır, S., Bingül, Z. ve Akyüz, İ. H., “Tek eklemlili esnek robot kolunun modellenmesi, tasarımı ve bulanık mantık ile kontrolü”, TOK09 Türkiye, (2009).

Kunt, E. D., Khail, I. S. M., Naskali, A. T., Fidan, K. C. ve Sabanovic A., “Yüksek hassasiyetli montaj işlemleri için minyatür delta robot tasarımı, en iyilemesi ve denetimi”, Otomatik kontrol ulusal toplantısı, Gebze Kocaeli, (2010).

Marcelo, H. Ang Jr., Wei, L. and Ser-Yong, L., “A walk-through programmed robot for welding in shipyards”, J. End. Sci, 5(26), 377-388, (1999).

Okutkan, O., “Yapay zeka ile mobil robot kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).

Öztürk, İ., “İnsansız robot kol tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2018).

Robentex, “Kaynak Robotu Nedir? Avantajları Nelerdir? [online]”,(23 Mart 2023), <https://www.robentex.com/blog/>, (2023).

Sarıaltın, E., “5-eksenli endüstriyel robot kol”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2017).

Sönmez, M., Nil, M., Yüzgeç U. ve Kandilli İ., “Üç serbest dereceli endüstriyel bir robotun yapay sinir ağları ile denetimi”, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO, BURSA, (2004).

Türker, K. S., “Endüstride kaynak robotları (proseslerin incelenmesi ve geliştirilmesi)”, Yüksek Lisans Tezi, Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2015).

Tonbul, T. S. ve Sarıtaş, M., “Beş eksenli bir edubot robot kolunda ters kinematik hesaplamalar ve yörünge planlaması”, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 1(8), 145-167, (2003).

Uzuner, S., Akkuş, N. ve Toz, M., “5 Eksenli Manipülatörün Eklem Uzayında Yörünge Planlaması”, Journal of Polytechnic, 20(1), 151-157, (2017).

Wurll, C. and Henrich, D., “Point-to-point and multi-goal planning for industriyel robots”, J. Rob., 18(8), 445-461, (2001).

Yıldırım, O., “Görüntü işleme tabanlı delta robot kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, (2019).

EKLER

7. EKLER

EK A Birinci Bölge Punta Kaynak Noktaları ve Eklem Açılı

Tablo A.1: Birinci bölge punta kaynak noktaları ve eklem açılı

Punta	Px	Py	Pz	Theta1	Theta2	Theta3	Theta4	Theta5	Theta6
1	467.5	999	1247.5	64.9219	78.803	120.1834	-55.192	-148.921	-50.9321
2	52.5	999	1247.5	86.9917	85.0037	127.1801	-5.6348	-147.691	-4.7668
3	52.5	999	1025	86.9917	71.0367	125.6334	-10.3814	-163.068	-9.9406
4	52.5	999	802.5	86.9917	55.4418	120.9491	-140.144	-175.303	-140.239
5	467.5	999	802.5	64.9219	52.0105	114.376	-116.701	-151.677	-119.742
6	467.5	999	1025	64.9219	66.1838	118.7536	-79.5789	-154.471	-78.4802
7	467.5	999	777.5	64.9219	50.3685	113.7117	-120.376	-150.574	-123.939
8	52.5	999	777.5	86.9917	53.6525	120.2443	-153.697	-173.198	-153.858
9	52.5	999	555	86.9917	37.8017	112.553	-173.935	-150.216	-174.732
10	52.5	999	332.5	86.9917	22.4031	102.5208	-176.333	-124.869	-177.901
11	467.5	999	332.5	64.9219	20.9331	96.6175	-152.174	-114.767	-167.531
12	467.5	999	555	64.9219	35.6267	106.3787	-142.758	-135.543	-151.515
13	27.5	999	1247.5	88.4232	85.0664	127.2479	-2.9479	-147.651	-2.491
14	-361.94	999	1247.5	109.9156	81.1963	122.9545	41.5256	-149.082	37.2236
15	-751.39	999	1247.5	126.9484	70.4637	109.8727	89.5527	-143.05	89.4403
16	-1140.8	999	1247.5	138.7921	55.7996	89.6077	116.4346	-122.842	132.5119
17	-1140.8	999	1025	138.7921	46.5988	88.3626	121.783	-117.744	143.082
18	-1140.8	999	802.5	138.7921	35.9322	84.4396	127.0711	-109.457	156.2079
19	-751.39	999	802.5	126.9484	46.7593	104.4707	122.6151	-134.469	132.4102
20	-361.94	999	802.5	109.9156	53.3841	116.9958	114.7619	-157.968	116.4547
21	27.5	999	802.5	88.4232	55.4744	121.012	-155.812	-176.149	-155.861
22	27.5	999	1025	88.4232	71.0848	125.6998	-5.4453	-163.144	-5.2127
23	27.5	999	777.5	88.4232	53.6835	120.3067	-165.269	-173.788	-165.352
24	-361.94	999	777.5	109.9156	51.6875	116.317	119.8407	-156.877	121.9542
25	-751.39	999	777.5	126.9484	45.2832	103.845	124.3022	-133.31	134.8434
26	-1140.8	999	777.5	138.7921	34.6567	83.8298	127.584	-108.313	157.7923
27	-1140.8	999	555	138.7921	22.7027	76.8423	130.8124	-96.2717	172.7902
28	-1140.8	999	332.5	138.7921	9.6429	66.7729	130.4038	-81.0986	-169.697
29	-751.39	999	332.5	126.9484	17.9507	87.2718	142.0639	-102.113	170.7105
30	-361.94	999	332.5	109.9156	21.5726	99.0005	157.1785	-118.569	168.622
31	27.5	999	332.5	88.4232	22.415	102.576	-178.076	-124.976	-178.897
32	27.5	999	555	88.4232	37.8209	112.6114	-176.807	-150.394	-177.223
33	-1165.8	999	1247.5	139.4067	54.738	88.0525	117.393	-121.213	134.9984
34	-1555.3	999	1247.5	147.2862	35.1431	57.813	122.6791	-91.5971	177.5121
35	-1555.3	999	802.5	147.2862	17.6738	51.4842	120.9763	-78.9138	-162.239
36	-1165.8	999	802.5	139.4067	35.0771	82.8752	127.1233	-107.758	158.0534
37	-1165.8	999	1025	139.4067	45.6435	86.8063	122.3044	-116.051	145.2165

38	-1165.8	999	777.5	139.4067	33.8117	82.2634	127.5849	-106.619	159.6154
39	-1555.3	999	777.5	147.2862	16.462	50.7046	120.6252	-77.894	-160.493
40	-1555.3	999	332.5	147.2862	-12.4035	23.0427	96.7631	-57.9167	-102.586
41	-1165.8	999	332.5	139.4067	8.8761	65.0698	129.4708	-79.6335	-167.674
42	-1165.8	999	555	139.4067	21.9262	75.2401	130.3714	-94.656	174.5463
43	467.5	-999	1247.5	-64.9219	78.803	120.1834	-124.808	-31.0791	-50.9321
44	52.5	-999	1247.5	-86.9917	85.0037	127.1801	-174.365	-32.3091	-4.7668
45	52.5	-999	1025	-86.9917	71.0367	125.6334	-169.619	-16.9318	-9.9406
46	52.5	-999	802.5	-86.9917	55.4418	120.9491	-39.8562	-4.6972	-140.239
47	467.5	-999	802.5	-64.9219	52.0105	114.376	-63.2993	-28.3232	-119.742
48	467.5	-999	1025	-64.9219	66.1838	118.7536	-100.421	-25.5286	-78.4802
49	467.5	-999	777.5	-64.9219	50.3685	113.7117	-59.624	-29.4258	-123.939
50	52.5	-999	777.5	-86.9917	53.6525	120.2443	-26.3027	-6.8018	-153.858
51	52.5	-999	555	-86.9917	37.8017	112.553	-6.0647	-29.7837	-174.732
52	52.5	-999	332.5	-86.9917	22.4031	102.5208	-3.6674	-55.1312	-177.901
53	467.5	-999	332.5	-64.9219	20.9331	96.6175	-27.8261	-65.233	-167.531
54	467.5	-999	555	-64.9219	35.6267	106.3787	-37.242	-44.4569	-151.515
55	27.5	-999	1247.5	-88.4232	85.0664	127.2479	-177.052	-32.3486	-2.491
56	-361.94	-999	1247.5	-109.916	81.1963	122.9545	138.4744	-30.9182	37.2236
57	-751.39	-999	1247.5	-126.948	70.4637	109.8727	90.4473	-36.9497	89.4403
58	-1140.8	-999	1247.5	-138.792	55.7996	89.6077	63.5654	-57.158	132.5119
59	-1140.8	-999	1025	-138.792	46.5988	88.3626	58.217	-62.2559	143.082
60	-1140.8	-999	802.5	-138.792	35.9322	84.4396	52.9289	-70.5434	156.2079
61	-751.39	-999	802.5	-126.948	46.7593	104.4707	57.3849	-45.5308	132.4102
62	-361.94	-999	802.5	-109.916	53.3841	116.9958	65.2381	-22.0321	116.4547
63	27.5	-999	802.5	-88.4232	55.4744	121.012	-24.1877	-3.8509	-155.861
64	27.5	-999	1025	-88.4232	71.0848	125.6998	-174.555	-16.8563	-5.2127
65	27.5	-999	777.5	-88.4232	53.6835	120.3067	-14.731	-6.2124	-165.352
66	-361.94	-999	777.5	-109.916	51.6875	116.317	60.1593	-23.1228	121.9542
67	-751.39	-999	777.5	-126.948	45.2832	103.845	55.6978	-46.6898	134.8434
68	-1140.8	-999	777.5	-138.792	34.6567	83.8298	52.416	-71.6867	157.7923
69	-1140.8	-999	555	-138.792	22.7027	76.8423	49.1876	-83.7283	172.7902
70	-1140.8	-999	332.5	-138.792	9.6429	66.7729	49.5962	-98.9014	-169.697
71	-751.39	-999	332.5	-126.948	17.9507	87.2718	37.9361	-77.8871	170.7105
72	-361.94	-999	332.5	-109.916	21.5726	99.0005	22.8215	-61.4308	168.622
73	27.5	-999	332.5	-88.4232	22.415	102.576	-1.9245	-55.0242	-178.897
74	27.5	-999	555	-88.4232	37.8209	112.6114	-3.193	-29.6059	-177.223
75	-1165.8	-999	1247.5	-139.407	54.738	88.0525	62.607	-58.7868	134.9984
76	-1555.3	-999	1247.5	-147.286	35.1431	57.813	57.3209	-88.4029	177.5121
77	-1555.3	-999	802.5	-147.286	17.6738	51.4842	59.0237	-101.086	-162.239
78	-1165.8	-999	802.5	-139.407	35.0771	82.8752	52.8767	-72.2418	158.0534
79	-1165.8	-999	1025	-139.407	45.6435	86.8063	57.6956	-63.9487	145.2165
80	-1165.8	-999	777.5	-139.407	33.8117	82.2634	52.4151	-73.3809	159.6154
81	-1555.3	-999	777.5	-147.286	16.462	50.7046	59.3748	-102.106	-160.493
82	-1555.3	-999	332.5	-147.286	-12.4035	23.0427	83.2369	-122.083	-102.586
83	-1165.8	-999	332.5	-139.407	8.8761	65.0698	50.5292	-100.367	-167.674

84	-1165.8	-999	555	-139.407	21.9262	75.2401	49.6286	-85.344	174.5463
85	1659	-457.5	1247.5	-15.4172	43.7643	71.4326	-75.9891	-83.5014	-155.603
86	1659	-152.5	1247.5	-5.252	47.1465	76.6518	-85.6318	-87.0813	-146.313
87	1659	152.5	1247.5	5.252	47.1465	76.6518	-94.3682	-92.9187	-146.313
88	1659	457.5	1247.5	15.4172	43.7643	71.4326	-104.011	-96.4986	-155.603
89	1659	457.5	942.5	15.4172	32.0847	68.8971	-105.148	-92.9029	-169.404
90	1659	457.5	637.5	15.4172	17.4252	60.7106	-105.103	-86.8669	168.5513
91	1659	457.5	332.5	15.4172	-0.7357	45.0937	-100.913	-79.0428	135.4077
92	1659	152.5	332.5	5.252	2.6068	51.8008	-94.2749	-86.9461	144.5216
93	1659	-152.5	332.5	-5.252	2.6068	51.8008	-85.7251	-93.0539	144.5216
94	1659	-457.5	332.5	-15.4172	-0.7357	45.0937	-79.0873	-100.957	135.4077
95	1659	-457.5	637.5	-15.4172	17.4252	60.7106	-74.897	-93.1331	168.5513
96	1659	-457.5	942.5	-15.4172	32.0847	68.8971	-74.8521	-87.0971	-169.404
97	1659	482.5	1247.5	16.2164	43.3338	70.7628	-104.869	-96.547	-156.759
98	1567.6	729.33	1255	24.9506	43.5033	70.6397	-113.004	-99.9354	-157.884
99	1332.4	847.61	1247.5	32.4618	52.2434	84.3585	-113.608	-112.954	-138.257
100	1332.4	847.61	1082.5	32.4618	45.8279	83.6875	-116.139	-109.969	-145.165
101	1406.6	839.32	942.5	30.8246	36.6685	76.7656	-118.7	-101.758	-159.584
102	1406.6	839.32	637.5	30.8246	21.7732	69.0157	-120.822	-90.4042	-179.323
103	1332.4	847.61	497.5	32.4618	16.8019	69.04	-122.394	-87.7696	176.4899
104	1332.4	847.61	332.5	32.4618	6.9754	60.9329	-120.516	-78.3542	161.0953
105	1567.6	729.33	332.5	24.9506	-1.2746	44.0315	-107.529	-71.9571	135.5613
106	1659	482.5	332.5	16.2164	-1.193	44.1919	-101.219	-78.2146	134.1605
107	1659	482.5	637.5	16.2164	17.0394	59.9815	-105.823	-86.4039	167.5208
108	1659	482.5	942.5	16.2164	31.6889	68.2164	-105.987	-92.7535	-170.482
109	1659	-482.5	1247.5	-16.2164	43.3338	70.7628	-75.1313	-83.453	-156.759
110	1567.6	-729.33	1255	-24.9506	43.5033	70.6397	-66.9958	-80.0646	-157.884
111	1332.4	-847.61	1247.5	-32.4618	52.2434	84.3585	-66.3916	-67.046	-138.257
112	1332.4	-847.61	1082.5	-32.4618	45.8279	83.6875	-63.8606	-70.0306	-145.165
113	1406.6	-839.32	942.5	-30.8246	36.6685	76.7656	-61.3	-78.2418	-159.584
114	1406.6	-839.32	637.5	-30.8246	21.7732	69.0157	-59.1778	-89.5958	-179.323
115	1332.4	-847.61	497.5	-32.4618	16.8019	69.04	-57.6065	-92.2304	176.4899
116	1332.4	-847.61	332.5	-32.4618	6.9754	60.9329	-59.4836	-101.646	161.0953
117	1567.6	-729.33	332.5	-24.9506	-1.2746	44.0315	-72.4708	-108.043	135.5613
118	1659	-482.5	332.5	-16.2164	-1.193	44.1919	-78.7812	-101.785	134.1605
119	1659	-482.5	637.5	-16.2164	17.0394	59.9815	-74.1769	-93.5961	167.5208
120	1659	-482.5	942.5	-16.2164	31.6889	68.2164	-74.0129	-87.2465	-170.482
121	1363.6	-844.34	2376	-31.7656	60.5245	42.0541	-58.8541	-83.4166	-169.258
122	1576.1	-720.98	2376	-24.5811	44.5546	18.9779	-67.7313	-100.684	155.6412
123	1660	-490	2376	-16.4456	44.9954	19.6543	-75.0638	-96.9621	155.5634
124	1660	0	2376	0	54.7358	34.0293	-90	-90	178.7652
125	1660	490	2376	16.4456	44.9954	19.6543	-104.936	-83.0379	155.5634
126	1576.1	720.98	2376	24.5811	44.5546	18.9779	-112.269	-79.3156	155.6412
127	1363.6	844.34	2376	31.7656	60.5245	42.0541	-121.146	-96.5834	-169.258
128	930.02	922.17	2376	44.7572	83.6436	70.171	-113.632	-129.186	-124.703
129	464	1000	2376	65.1087	97.6158	84.0361	-86.4449	-155.057	-86.0803

130	460	797.3	2492	60.0173	107.0835	86.4976	-67.8533	-147.347	-64.2005
131	460	523.65	2581	48.7023	118.3384	90.0267	-61.5944	-131.383	-50.714
132	460	267.32	2629.3	30.1622	126.1613	91.9396	-70.2729	-113.29	-47.7946
133	460	0	2646	0	129.4592	92.6045	-90	-90	-47.9363
134	460	-267.32	2629.3	-30.1622	126.1613	91.9396	-109.727	-66.7097	-47.7946
135	460	-523.65	2581	-48.7023	118.3384	90.0267	-118.406	-48.617	-50.714
136	460	-797.3	2492	-60.0173	107.0835	86.4976	-112.147	-32.6527	-64.2005
137	464	-1000	2376	-65.1087	97.6158	84.0361	-93.5551	-24.9426	-86.0803
138	930.02	-922.17	2376	-44.7572	83.6436	70.171	-66.3681	-50.8139	-124.703
139	1098.2	-20	2585.4	-1.0433	93.2812	69.8637	-89.6975	-89.0015	-106.858
140	-70	-1000	2376	-94.0042	104.1664	89.7197	163.7393	-14.441	15.7729
141	-603.33	-1000	2376	-121.104	93.2782	79.9863	78.9991	-31.7532	102.8774
142	-70	-352.03	2616.9	-101.246	136.0664	97.0381	166.037	-53.9261	8.3293
143	-603.33	-352.03	2616.9	-149.737	117.0739	87.337	103.5574	-62.683	62.28
144	-70	352.03	2616.9	101.2464	136.0664	97.0381	13.963	-126.074	8.3293
145	-603.33	352.03	2616.9	149.7374	117.0739	87.337	76.4426	-117.317	62.28
146	-70	1000	2376	94.0042	104.1664	89.7197	16.2607	-165.559	15.7729
147	-603.33	1000	2376	121.1038	93.2782	79.9863	101.0009	-148.247	102.8774
148	-1133.3	1000	2376	138.5763	68.6221	52.6251	127.0294	-110.072	155.5362
149	-1133.3	797.3	2492	144.8735	75.591	55.5314	117.9215	-112.235	144.4713
150	-1133.3	523.65	2581	155.2009	83.1396	59.7086	105.5914	-109.53	129.8514
151	-1133.3	267.32	2629.3	166.7281	87.4973	61.8996	96.8472	-101.396	121.2871
152	-1133.3	0	2646	180	89.0665	62.6501	90	-90	118.2834
153	-1133.3	-267.32	2629.3	-166.728	87.4973	61.8996	83.1528	-78.6036	121.2871
154	-1133.3	-523.65	2581	-155.201	83.1396	59.7086	74.4086	-70.4696	129.8514
155	-1133.3	-797.3	2492	-144.874	75.591	55.5314	62.0785	-67.7646	144.4713
156	-1133.3	-1000	2376	-138.576	68.6221	52.6251	52.9706	-69.9277	155.5362
157	-1453.3	-1000	2376	-145.469	35.6141	4.7622	65.9756	-115.584	-135.908
158	-1453.3	-352.03	2616.9	-166.384	60.3447	29.6428	76.3839	-90.0029	-179.988
159	-1453.3	352.03	2616.9	166.3839	60.3447	29.6428	103.6161	-89.9971	-179.988
160	-1453.3	1000	2376	145.4691	35.6141	4.7622	114.0244	-64.4162	-135.908

EK B Ters Kinematik – Yörünge Planlaması Matlab Modelleme

```
%% RRRRRR 6 EKSEN SERİ ROBOT TERS KİNEMATİK - YÖRÜNGE
PLANLAMASI ANALİTİK %%
close all
clc

syms T1 T2 T3 T4 T5 T6 L1 L2 L3 px py pz;

% robot kol uzunlukları (mm)
L1=1240; L2=850; L3=1250;

punta_aci=zeros(length(punta),10);

for i=1:length(punta)

% punta noktaları [px py pz]
punta=[467.5 999 1247.5
        52.5 999 1247.5
        52.5 999 1025
        52.5 999 802.5
        467.5 999 802.5
        467.5 999 1025
        467.5 999 777.5
        52.5 999 777.5
        52.5 999 555
        52.5 999 332.5
        467.5 999 332.5
        467.5 999 555
        27.5 999 1247.5
        -361.94 999 1247.5
        -751.39 999 1247.5
        -1140.83 999 1247.5
        -1140.83 999 1025
        -1140.83 999 802.5
        -751.39 999 802.5
        -361.94 999 802.5
        27.5 999 802.5
        27.5 999 1025
        27.5 999 777.5
        -361.94 999 777.5
        -751.39 999 777.5
        -1140.83 999 777.5
        -1140.83 999 555
        -1140.83 999 332.5
        -751.39 999 332.5
        -361.94 999 332.5
        27.5 999 332.5
        27.5 999 555
        -1165.83 999 1247.5
```

-1555.28 999 1247.5
-1555.28 999 802.5
-1165.83 999 802.5
-1165.83 999 1025
-1165.83 999 777.5
-1555.28 999 777.5
-1555.28 999 332.5
-1165.83 999 332.5
-1165.83 999 555
467.5 -999 1247.5
52.5 -999 1247.5
52.5 -999 1025
52.5 -999 802.5
467.5 -999 802.5
467.5 -999 1025
467.5 -999 777.5
52.5 -999 777.5
52.5 -999 555
52.5 -999 332.5
467.5 -999 332.5
467.5 -999 555
27.5 -999 1247.5
-361.94 -999 1247.5
-751.39 -999 1247.5
-1140.83 -999 1247.5
-1140.83 -999 1025
-1140.83 -999 802.5
-751.39 -999 802.5
-361.94 -999 802.5
27.5 -999 802.5
27.5 -999 1025
27.5 -999 777.5
-361.94 -999 777.5
-751.39 -999 777.5
-1140.83 -999 777.5
-1140.83 -999 555
-1140.83 -999 332.5
-751.39 -999 332.5
-361.94 -999 332.5
27.5 -999 332.5
27.5 -999 555
-1165.83 -999 1247.5
-1555.28 -999 1247.5
-1555.28 -999 802.5
-1165.83 -999 802.5
-1165.83 -999 1025
-1165.83 -999 777.5
-1555.28 -999 777.5
-1555.28 -999 332.5
-1165.83 -999 332.5
-1165.83 -999 555

1659 -457.5 1247.5
1659 -152.5 1247.5
1659 152.5 1247.5
1659 457.5 1247.5
1659 457.5 942.5
1659 457.5 637.5
1659 457.5 332.5
1659 152.5 332.5
1659 -152.5 332.5
1659 -457.5 332.5
1659 -457.5 637.5
1659 -457.5 942.5
1659 482.5 1247.5
1567.58 729.33 1255
1332.44 847.61 1247.5
1332.44 847.61 1082.5
1406.6 839.32 942.5
1406.6 839.32 637.5
1332.44 847.61 497.5
1332.44 847.61 332.5
1567.58 729.33 332.5
1659 482.5 332.5
1659 482.5 637.5
1659 482.5 942.5
1659 -482.5 1247.5
1567.58 -729.33 1255
1332.44 -847.61 1247.5
1332.44 -847.61 1082.5
1406.6 -839.32 942.5
1406.6 -839.32 637.5
1332.44 -847.61 497.5
1332.44 -847.61 332.5
1567.58 -729.33 332.5
1659 -482.5 332.5
1659 -482.5 637.5
1659 -482.5 942.5
1363.61 -844.34 2376
1576.13 -720.98 2376
1660 -490 2376
1660 0 2376
1660 490 2376
1576.13 720.98 2376
1363.61 844.34 2376
930.02 922.17 2376
464 1000 2376
460 797.3 2492.01
460 523.65 2580.97
460 267.32 2629.25
460 0 2646
460 -267.32 2629.25
460 -523.65 2580.97

```

460 -797.3 2492.01
464 -1000 2376
930.02 -922.17 2376
1098.21 -20 2585.39
-70 -1000 2376
-603.33 -1000 2376
-70 -352.03 2616.88
-603.33 -352.03 2616.88
-70 352.03 2616.88
-603.33 352.03 2616.88
-70 1000 2376
-603.33 1000 2376
-1133.33 1000 2376
-1133.33 797.3 2492.01
-1133.33 523.65 2580.97
-1133.33 267.32 2629.25
-1133.33 0 2646
-1133.33 -267.32 2629.25
-1133.33 -523.65 2580.97
-1133.33 -797.3 2492.01
-1133.33 -1000 2376
-1453.33 -1000 2376
-1453.33 -352.03 2616.88
-1453.33 352.03 2616.88
-1453.33 1000 2376];

```

```

%*****ÖTELEME*****
%*****

```

```

% dönüşüm matrisleri

```

```

T01=[cos(T1) -sin(T1) 0 0 ; sin(T1) cos(T1) 0 0 ; 0 0 1
L1 ; 0 0 0 1];
T12=[cos(T2) -sin(T2) 0 0 ; 0 0 -1 0 ; sin(T2) cos(T2) 0
0 ; 0 0 0 1];
T23=[-sin(T3) -cos(T3) 0 L2 ; cos(T3) -sin(T3) 0 0 ; 0 0
1 0 ; 0 0 0 1];
T34=[cos(T4) -sin(T4) 0 0 ; 0 0 -1 -L3 ; sin(T4) cos(T4)
0 0 ; 0 0 0 1];
T45=[cos(T5) -sin(T5) 0 0 ; 0 0 -1 0 ; sin(T5) cos(T5) 0
0 ; 0 0 0 1];
T56=[cos(T6) -sin(T6) 0 0 ; 0 0 1 0 ; -sin(T6) -cos(T6) 0
0 ; 0 0 0 1];
T06=[0 1 0 px ; 0 0 1 py ; 1 0 0 pz ; 0 0 0 1];
T04=T01*T12*T23*T34;

```

```

% 1. kademe

```

```

sag=T12*T23*T34*T45*T56;
sol=inv(T01)*T06;

```

```

%thetal açısı

```

```

thetal(i)=atan2(punta(i,2),punta(i,1));
thetal(i)=double(thetal(i));

```

```

%denklem
c=subs(sol(1:1,4:4),[px py pz T1],[punta(i,1) punta(i,2)
punta(i,3) theta1(i)]);
d=subs(sol(3:3,4:4),[px py pz T1],[punta(i,1) punta(i,2)
punta(i,3) theta1(i)]);
a=L3;
b=L2;
costhetaj=(c^2+d^2-a^2-b^2)/(2*a*b);
sinthetaj=sqrt(1-costhetaj^2);
r=a*costhetaj+b;
s=-a*sinthetaj;

%theta2 açısı
theta2(i)=atan2(r*d-s*c,r*c+s*d);
theta2(i)=double(theta2(i));

%theta3 açısı
theta3(i)=atan2(sinthetaj, costhetaj);
theta3(i)=double(theta3(i));

%
%*****YÖNELİM*****
*****

T01=[cos(theta1(i)) -sin(theta1(i)) 0 0 ; sin(theta1(i))
cos(theta1(i)) 0 0 ; 0 0 1 L1 ; 0 0 0 1];
T12=[cos(theta2(i)) -sin(theta2(i)) 0 0 ; 0 0 -1 0 ;
sin(theta2(i)) cos(theta2(i)) 0 0 ; 0 0 0 1];
T23=[-sin(theta3(i)) -cos(theta3(i)) 0 L2 ;
cos(theta3(i)) -sin(theta3(i)) 0 0 ; 0 0 1 0 ; 0 0 0 1];
T34=[cos(0) -sin(0) 0 0 ; 0 0 -1 -L3 ; sin(0) cos(0) 0 0
; 0 0 0 1];

T04=(T01*T12*T23*T34);
R04=T04(1:3,1:3);
R04t=inv(R04);
R06=[0 1 0 ; 0 0 1 ; 1 0 0]; %belirlenen dönme matrisi
U=R04t*R06;

%theta4 açısı
theta4(i)=atan2(U(2,3),U(1,3));
theta4(i)=double(theta4(i));

%theta5 açısı
theta5(i)=-atan2(sqrt(1-(U(3,3)^2)),U(3,3));
theta5(i)=double(theta5(i));

%theta6 açısı
theta6(i)=atan2(U(3,2),-U(3,1));
theta6(i)=double(theta6(i));

```

```

%açıların dereceye çevrilmesi
theta1(i)=(theta1(i)*180/pi);
theta2(i)=(theta2(i)*180/pi);
theta3(i)=(theta3(i)*180/pi);
theta4(i)=(theta4(i)*180/pi);
theta5(i)=(theta5(i)*180/pi);
theta6(i)=(theta6(i)*180/pi);

%punta_aci matrisi [punta_noktası theta1 theta2 theta3
theta4 theta5 theta6]
punta_aci(i,1)=i;
punta_aci(i,2)=punta(i,1);
punta_aci(i,3)=punta(i,2);
punta_aci(i,4)=punta(i,3);
punta_aci(i,5)=theta1(i);
punta_aci(i,6)=theta2(i);
punta_aci(i,7)=theta3(i);
punta_aci(i,8)=theta4(i);
punta_aci(i,9)=theta5(i);
punta_aci(i,10)=theta6(i);
end

%punta_aci matrisini excel dosyasına kaydetme
xlswrite('punta_aci.xlsx',punta_aci);

%%*****YÖRÜNGE*****
*****

syms tf
tf=2; %zaman sabiti 2 saniye
t=0:0.1:2; %zaman periyodu 0-2 saniye
%theta1 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t1_12t=punta_aci(1,5)+((3*(punta_aci(2,5)-
punta_aci(1,5)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(2,5)-
punta_aci(1,5)))/tf^3)*t.^3;
%theta1 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t1_23t=punta_aci(2,5)+((3*(punta_aci(3,5)-
punta_aci(2,5)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(3,5)-
punta_aci(2,5)))/tf^3)*t.^3;
%theta1 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t1_34t=punta_aci(3,5)+((3*(punta_aci(4,5)-
punta_aci(3,5)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(4,5)-
punta_aci(3,5)))/tf^3)*t.^3;
%theta1 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t1_45t=punta_aci(4,5)+((3*(punta_aci(5,5)-
punta_aci(4,5)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(5,5)-
punta_aci(4,5)))/tf^3)*t.^3;

```

%theta1 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t1_56t = \text{punta_aci}(5,5) + ((3 * (\text{punta_aci}(6,5) - \text{punta_aci}(5,5))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(6,5) - \text{punta_aci}(5,5))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta2 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t2_12t = \text{punta_aci}(1,6) + ((3 * (\text{punta_aci}(2,6) - \text{punta_aci}(1,6))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(2,6) - \text{punta_aci}(1,6))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta2 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t2_23t = \text{punta_aci}(2,6) + ((3 * (\text{punta_aci}(3,6) - \text{punta_aci}(2,6))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(3,6) - \text{punta_aci}(2,6))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta2 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t2_34t = \text{punta_aci}(3,6) + ((3 * (\text{punta_aci}(4,6) - \text{punta_aci}(3,6))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(4,6) - \text{punta_aci}(3,6))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta2 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t2_45t = \text{punta_aci}(4,6) + ((3 * (\text{punta_aci}(5,6) - \text{punta_aci}(4,6))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(5,6) - \text{punta_aci}(4,6))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta2 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t2_56t = \text{punta_aci}(5,6) + ((3 * (\text{punta_aci}(6,6) - \text{punta_aci}(5,6))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(6,6) - \text{punta_aci}(5,6))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta3 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t3_12t = \text{punta_aci}(1,7) + ((3 * (\text{punta_aci}(2,7) - \text{punta_aci}(1,7))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(2,7) - \text{punta_aci}(1,7))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta3 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t3_23t = \text{punta_aci}(2,7) + ((3 * (\text{punta_aci}(3,7) - \text{punta_aci}(2,7))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(3,7) - \text{punta_aci}(2,7))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta3 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t3_34t = \text{punta_aci}(3,7) + ((3 * (\text{punta_aci}(4,7) - \text{punta_aci}(3,7))) / \text{tf}^2) * t.^2 - ((2 * (\text{punta_aci}(4,7) - \text{punta_aci}(3,7))) / \text{tf}^3) * t.^3;$$

%theta3 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

```

t3_45t=punta_aci(4,7)+((3*(punta_aci(5,7)-
punta_aci(4,7)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(5,7)-
punta_aci(4,7)))/tf^3)*t.^3;
%theta3 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t3_56t=punta_aci(5,7)+((3*(punta_aci(6,7)-
punta_aci(5,7)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(6,7)-
punta_aci(5,7)))/tf^3)*t.^3;

%theta4 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t4_12t=punta_aci(1,8)+((3*(punta_aci(2,8)-
punta_aci(1,8)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(2,8)-
punta_aci(1,8)))/tf^3)*t.^3;
%theta4 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t4_23t=punta_aci(2,8)+((3*(punta_aci(3,8)-
punta_aci(2,8)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(3,8)-
punta_aci(2,8)))/tf^3)*t.^3;
%theta4 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t4_34t=punta_aci(3,8)+((3*(punta_aci(4,8)-
punta_aci(3,8)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(4,8)-
punta_aci(3,8)))/tf^3)*t.^3;
%theta4 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t4_45t=punta_aci(4,8)+((3*(punta_aci(5,8)-
punta_aci(4,8)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(5,8)-
punta_aci(4,8)))/tf^3)*t.^3;
%theta4 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t4_56t=punta_aci(5,8)+((3*(punta_aci(6,8)-
punta_aci(5,8)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(6,8)-
punta_aci(5,8)))/tf^3)*t.^3;

%theta5 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t5_12t=punta_aci(1,9)+((3*(punta_aci(2,9)-
punta_aci(1,9)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(2,9)-
punta_aci(1,9)))/tf^3)*t.^3;
%theta5 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t5_23t=punta_aci(2,9)+((3*(punta_aci(3,9)-
punta_aci(2,9)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(3,9)-
punta_aci(2,9)))/tf^3)*t.^3;
%theta5 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki
konum yörünge polinom denklemi
t5_34t=punta_aci(3,9)+((3*(punta_aci(4,9)-
punta_aci(3,9)))/tf^2)*t.^2-((2*(punta_aci(4,9)-
punta_aci(3,9)))/tf^3)*t.^3;

```

%theta5 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t5_45t = \text{punta_aci}(4,9) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(5,9) - \text{punta_aci}(4,9))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(5,9) - \text{punta_aci}(4,9))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta5 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t5_56t = \text{punta_aci}(5,9) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(6,9) - \text{punta_aci}(5,9))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(6,9) - \text{punta_aci}(5,9))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta6 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t6_12t = \text{punta_aci}(1,10) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(2,10) - \text{punta_aci}(1,10))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(2,10) - \text{punta_aci}(1,10))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta6 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t6_23t = \text{punta_aci}(2,10) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(3,10) - \text{punta_aci}(2,10))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(3,10) - \text{punta_aci}(2,10))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta6 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t6_34t = \text{punta_aci}(3,10) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(4,10) - \text{punta_aci}(3,10))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(4,10) - \text{punta_aci}(3,10))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta6 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t6_45t = \text{punta_aci}(4,10) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(5,10) - \text{punta_aci}(4,10))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(5,10) - \text{punta_aci}(4,10))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta6 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki konum yörünge polinom denklemi

$$t6_56t = \text{punta_aci}(5,10) + \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(6,10) - \text{punta_aci}(5,10))}{tf^2} \right) \cdot t.^2 - \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(6,10) - \text{punta_aci}(5,10))}{tf^3} \right) \cdot t.^3;$$

%theta1 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız yörünge polinom denklemi

$$t1_12dt = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(2,5) - \text{punta_aci}(1,5))}{tf^2} \right) \cdot t - 3 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(2,5) - \text{punta_aci}(1,5))}{tf^3} \right) \cdot t.^2;$$

%theta1 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız yörünge polinom denklemi

$$t1_23dt = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(3,5) - \text{punta_aci}(2,5))}{tf^2} \right) \cdot t - 3 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(3,5) - \text{punta_aci}(2,5))}{tf^3} \right) \cdot t.^2;$$

%theta1 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız yörünge polinom denklemi

$$t1_34dt = 2 \cdot \left(\frac{3 \cdot (\text{punta_aci}(4,5) - \text{punta_aci}(3,5))}{tf^2} \right) \cdot t - 3 \cdot \left(\frac{2 \cdot (\text{punta_aci}(4,5) - \text{punta_aci}(3,5))}{tf^3} \right) \cdot t.^2;$$

%theta1 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız yörünge polinom denklemi

```

t1_45dt=2*((3*(punta_aci(5,5)-punta_aci(4,5)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,5)-punta_aci(4,5)))/tf^3)*t.^2;
%theta1 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t1_56dt=2*((3*(punta_aci(6,5)-punta_aci(5,5)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,5)-punta_aci(5,5)))/tf^3)*t.^2;

%theta2 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t2_12dt=2*((3*(punta_aci(2,6)-punta_aci(1,6)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(2,6)-punta_aci(1,6)))/tf^3)*t.^2;
%theta2 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t2_23dt=2*((3*(punta_aci(3,6)-punta_aci(2,6)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(3,6)-punta_aci(2,6)))/tf^3)*t.^2;
%theta2 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t2_34dt=2*((3*(punta_aci(4,6)-punta_aci(3,6)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(4,6)-punta_aci(3,6)))/tf^3)*t.^2;
%theta2 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t2_45dt=2*((3*(punta_aci(5,6)-punta_aci(4,6)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,6)-punta_aci(4,6)))/tf^3)*t.^2;
%theta2 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t2_56dt=2*((3*(punta_aci(6,6)-punta_aci(5,6)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,6)-punta_aci(5,6)))/tf^3)*t.^2;

%theta3 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t3_12dt=2*((3*(punta_aci(2,7)-punta_aci(1,7)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(2,7)-punta_aci(1,7)))/tf^3)*t.^2;
%theta3 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t3_23dt=2*((3*(punta_aci(3,7)-punta_aci(2,7)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(3,7)-punta_aci(2,7)))/tf^3)*t.^2;
%theta3 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t3_34dt=2*((3*(punta_aci(4,7)-punta_aci(3,7)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(4,7)-punta_aci(3,7)))/tf^3)*t.^2;
%theta3 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t3_45dt=2*((3*(punta_aci(5,7)-punta_aci(4,7)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,7)-punta_aci(4,7)))/tf^3)*t.^2;
%theta3 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t3_56dt=2*((3*(punta_aci(6,7)-punta_aci(5,7)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,7)-punta_aci(5,7)))/tf^3)*t.^2;

%theta4 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi

```



```

t4_12dt=2*((3*(punta_aci(2,8)-punta_aci(1,8)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(2,8)-punta_aci(1,8)))/tf^3)*t.^2;
%theta4 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t4_23dt=2*((3*(punta_aci(3,8)-punta_aci(2,8)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(3,8)-punta_aci(2,8)))/tf^3)*t.^2;
%theta4 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t4_34dt=2*((3*(punta_aci(4,8)-punta_aci(3,8)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(4,8)-punta_aci(3,8)))/tf^3)*t.^2;
%theta4 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t4_45dt=2*((3*(punta_aci(5,8)-punta_aci(4,8)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,8)-punta_aci(4,8)))/tf^3)*t.^2;
%theta4 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t4_56dt=2*((3*(punta_aci(6,8)-punta_aci(5,8)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,8)-punta_aci(5,8)))/tf^3)*t.^2;

%theta5 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t5_12dt=2*((3*(punta_aci(2,9)-punta_aci(1,9)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(2,9)-punta_aci(1,9)))/tf^3)*t.^2;
%theta5 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t5_23dt=2*((3*(punta_aci(3,9)-punta_aci(2,9)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(3,9)-punta_aci(2,9)))/tf^3)*t.^2;
%theta5 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t5_34dt=2*((3*(punta_aci(4,9)-punta_aci(3,9)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(4,9)-punta_aci(3,9)))/tf^3)*t.^2;
%theta5 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t5_45dt=2*((3*(punta_aci(5,9)-punta_aci(4,9)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,9)-punta_aci(4,9)))/tf^3)*t.^2;
%theta5 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t5_56dt=2*((3*(punta_aci(6,9)-punta_aci(5,9)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,9)-punta_aci(5,9)))/tf^3)*t.^2;

%theta6 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t6_12dt=2*((3*(punta_aci(2,10)-punta_aci(1,10)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(2,10)-punta_aci(1,10)))/tf^3)*t.^2;
%theta6 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t6_23dt=2*((3*(punta_aci(3,10)-punta_aci(2,10)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(3,10)-punta_aci(2,10)))/tf^3)*t.^2;
%theta6 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi

```

```

t6_34dt=2*((3*(punta_aci(4,10)-punta_aci(3,10)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(4,10)-punta_aci(3,10)))/tf^3)*t.^2;
%theta6 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t6_45dt=2*((3*(punta_aci(5,10)-punta_aci(4,10)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(5,10)-punta_aci(4,10)))/tf^3)*t.^2;
%theta6 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki hız
yörünge polinom denklemi
t6_56dt=2*((3*(punta_aci(6,10)-punta_aci(5,10)))/tf^2)*t-
3*((2*(punta_aci(6,10)-punta_aci(5,10)))/tf^3)*t.^2;

%theta1 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t1_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,5)-punta_aci(1,5)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(2,5)-punta_aci(1,5)))/tf^3)*t;
%theta1 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t1_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,5)-punta_aci(2,5)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(3,5)-punta_aci(2,5)))/tf^3)*t;
%theta1 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t1_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,5)-punta_aci(3,5)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(4,5)-punta_aci(3,5)))/tf^3)*t;
%theta1 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t1_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,5)-punta_aci(4,5)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(5,5)-punta_aci(4,5)))/tf^3)*t;
%theta1 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t1_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,5)-punta_aci(5,5)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(6,5)-punta_aci(5,5)))/tf^3)*t;

%theta2 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t2_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,6)-punta_aci(1,6)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(2,6)-punta_aci(1,6)))/tf^3)*t;
%theta2 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t2_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,6)-punta_aci(2,6)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(3,6)-punta_aci(2,6)))/tf^3)*t;
%theta2 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t2_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,6)-punta_aci(3,6)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(4,6)-punta_aci(3,6)))/tf^3)*t;
%theta2 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t2_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,6)-punta_aci(4,6)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(5,6)-punta_aci(4,6)))/tf^3)*t;
%theta2 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi

```

```
t2_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,6)-punta_aci(5,6)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(6,6)-punta_aci(5,6)))/tf^3)*t;
```

```
%theta3 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t3_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,7)-punta_aci(1,7)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(2,7)-punta_aci(1,7)))/tf^3)*t;
```

```
%theta3 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t3_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,7)-punta_aci(2,7)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(3,7)-punta_aci(2,7)))/tf^3)*t;
```

```
%theta3 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t3_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,7)-punta_aci(3,7)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(4,7)-punta_aci(3,7)))/tf^3)*t;
```

```
%theta3 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t3_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,7)-punta_aci(4,7)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(5,7)-punta_aci(4,7)))/tf^3)*t;
```

```
%theta3 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t3_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,7)-punta_aci(5,7)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(6,7)-punta_aci(5,7)))/tf^3)*t;
```

```
%theta4 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t4_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,8)-punta_aci(1,8)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(2,8)-punta_aci(1,8)))/tf^3)*t;
```

```
%theta4 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t4_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,8)-punta_aci(2,8)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(3,8)-punta_aci(2,8)))/tf^3)*t;
```

```
%theta4 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t4_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,8)-punta_aci(3,8)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(4,8)-punta_aci(3,8)))/tf^3)*t;
```

```
%theta4 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t4_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,8)-punta_aci(4,8)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(5,8)-punta_aci(4,8)))/tf^3)*t;
```

```
%theta4 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t4_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,8)-punta_aci(5,8)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(6,8)-punta_aci(5,8)))/tf^3)*t;
```

```
%theta5 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```
t5_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,9)-punta_aci(1,9)))/tf^2)-  
2*3*((2*(punta_aci(2,9)-punta_aci(1,9)))/tf^3)*t;
```

```
%theta5 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme  
yörünge polinom denklemi
```

```

t5_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,9)-punta_aci(2,9)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(3,9)-punta_aci(2,9)))/tf^3)*t;
%theta5 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t5_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,9)-punta_aci(3,9)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(4,9)-punta_aci(3,9)))/tf^3)*t;
%theta5 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t5_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,9)-punta_aci(4,9)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(5,9)-punta_aci(4,9)))/tf^3)*t;
%theta5 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t5_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,9)-punta_aci(5,9)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(6,9)-punta_aci(5,9)))/tf^3)*t;

%theta6 açısının 1. ve 2. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t6_12ddt=2*((3*(punta_aci(2,10)-punta_aci(1,10)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(2,10)-punta_aci(1,10)))/tf^3)*t;
%theta6 açısının 2. ve 3. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t6_23ddt=2*((3*(punta_aci(3,10)-punta_aci(2,10)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(3,10)-punta_aci(2,10)))/tf^3)*t;
%theta6 açısının 3. ve 4. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t6_34ddt=2*((3*(punta_aci(4,10)-punta_aci(3,10)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(4,10)-punta_aci(3,10)))/tf^3)*t;
%theta6 açısının 4. ve 5. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t6_45ddt=2*((3*(punta_aci(5,10)-punta_aci(4,10)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(5,10)-punta_aci(4,10)))/tf^3)*t;
%theta6 açısının 5. ve 6. punta noktaları arasındaki ivme
yörünge polinom denklemi
t6_56ddt=2*((3*(punta_aci(6,10)-punta_aci(5,10)))/tf^2)-
2*3*((2*(punta_aci(6,10)-punta_aci(5,10)))/tf^3)*t;

figure,plot(t,t1_12t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_23t,'--o','linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_56t,'linewidth',3);
legend('\theta1 12','\theta1 23','\theta1 34','\theta1
45','\theta1 56');
xlabel('Zaman (s) ','fontsize',[14])
ylabel('Konum (deg) ','fontsize',[14])

figure,plot(t,t2_12t,'linewidth',3);

```

```

hold on
plot(t,t2_23t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_56t,'linewidth',3);
legend('\theta2 12','\theta2 23','\theta2 34','\theta2
45','\theta2 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Konum (deg) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t3_12t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_23t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_56t,'linewidth',3);
legend('\theta3 12','\theta3 23','\theta3 34','\theta3
45','\theta3 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Konum (deg) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t4_12t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_23t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_56t,'linewidth',3);
legend('\theta4 12','\theta4 23','\theta4 34','\theta4
45','\theta4 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Konum (deg) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t5_12t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_23t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_56t,'linewidth',3);

```

```

legend('\theta5 12', '\theta5 23', '\theta5 34', '\theta5
45', '\theta5 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Konum (deg) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t6_12t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_23t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_34t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_45t,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_56t,'linewidth',3);
legend('\theta6 12', '\theta6 23', '\theta6 34', '\theta6
45', '\theta6 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Konum (deg) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t1_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_23dt,'--o','linewidth',6);
hold on
plot(t,t1_34dt,'--s','linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta1 12', '\theta1 23', '\theta1 34', '\theta1
45', '\theta1 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t2_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_23dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_34dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta2 12', '\theta2 23', '\theta2 34', '\theta2
45', '\theta2 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t3_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_23dt,'linewidth',3);
hold on

```

```

plot(t,t3_34dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta3 12','\theta3 23','\theta3 34','\theta3
45','\theta3 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t4_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_23dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_34dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta4 12','\theta4 23','\theta4 34','\theta4
45','\theta4 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t5_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_23dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_34dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta5 12','\theta5 23','\theta5 34','\theta5
45','\theta5 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t6_12dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_23dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_34dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_45dt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_56dt,'linewidth',3);
legend('\theta6 12','\theta6 23','\theta6 34','\theta6
45','\theta6 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('Hız (deg/s) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t1_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_23ddt,'--o','linewidth',6);
hold on
plot(t,t1_34ddt,'--s','linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_45ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t1_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta1 12','\theta1 23','\theta1 34','\theta1
45','\theta1 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t2_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_23ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_34ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_45ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t2_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta2 12','\theta2 23','\theta2 34','\theta2
45','\theta2 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t3_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_23ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_34ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_45ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t3_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta3 12','\theta3 23','\theta3 34','\theta3
45','\theta3 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

```

```

figure,plot(t,t4_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_23ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_34ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t4_45ddt,'linewidth',3);
hold on

```



```

plot(t,t4_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta4 12','\theta4 23','\theta4 34','\theta4
45','\theta4 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t5_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_23ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_34ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_45ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t5_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta5 12','\theta5 23','\theta5 34','\theta5
45','\theta5 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

figure,plot(t,t6_12ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_23ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_34ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_45ddt,'linewidth',3);
hold on
plot(t,t6_56ddt,'linewidth',3);
legend('\theta6 12','\theta6 23','\theta6 34','\theta6
45','\theta6 56');
xlabel ('Zaman (s) ', 'fontsize', [14])
ylabel ('İvme (deg/s^2) ', 'fontsize', [14])

```

EK C İleri Kinematik Matlab Modelleme

```
% RRRRRR 6 EKSEN SERİ ROBOT İLERİ KİNEMATİK %%
close all
clc

% robot kol uzunlukları (mm)
L1=1240; L2=850; L3=1250;
% eklem açısı girdileri
cT1=cos(0); %cos(theta1) açısı sıfır
sT1=sin(0); %sin(theta1) açısı sıfır
cT2=cos(0); %cos(theta2) açısı sıfır
sT2=sin(0); %sin(theta2) açısı sıfır
cT3=cos(0+(pi/2)); %cos(theta3) açısı sıfır
sT3=sin(0+(pi/2)); %sin(theta3) açısı sıfır
cT4=cos(0); %cos(theta4) açısı sıfır
sT4=sin(0); %sin(theta4) açısı sıfır
cT5=cos(0); %cos(theta5) açısı sıfır
sT5=sin(0); %sin(theta5) açısı sıfır
cT6=cos(0); %cos(theta6) açısı sıfır
sT6=sin(0); %sin(theta6) açısı sıfır

% dönüşüm matrisleri
T01=[cT1 -sT1 0 0 ; sT1 cT1 0 0 ; 0 0 1 L1 ; 0 0 0 1];
T12=[cT2 -sT2 0 0 ; 0 0 -1 0 ; sT2 cT2 0 0 ; 0 0 0 1];
T23=[cT3 -sT3 0 L2 ; sT3 cT3 0 0 ; 0 0 1 0 ; 0 0 0 1];
T34=[cT4 -sT4 0 0 ; 0 0 -1 -L3 ; sT4 cT4 0 0 ; 0 0 0 1];
T45=[cT5 -sT5 0 0 ; 0 0 -1 0 ; sT5 cT5 0 0 ; 0 0 0 1];
T56=[cT6 -sT6 0 0 ; 0 0 1 0 ; -sT6 -cT6 0 0 ; 0 0 0 1];

% taban ile uç işlevci arası ileri kinematik matrisi
T06=T01*T12*T23*T34*T45*T56;
```